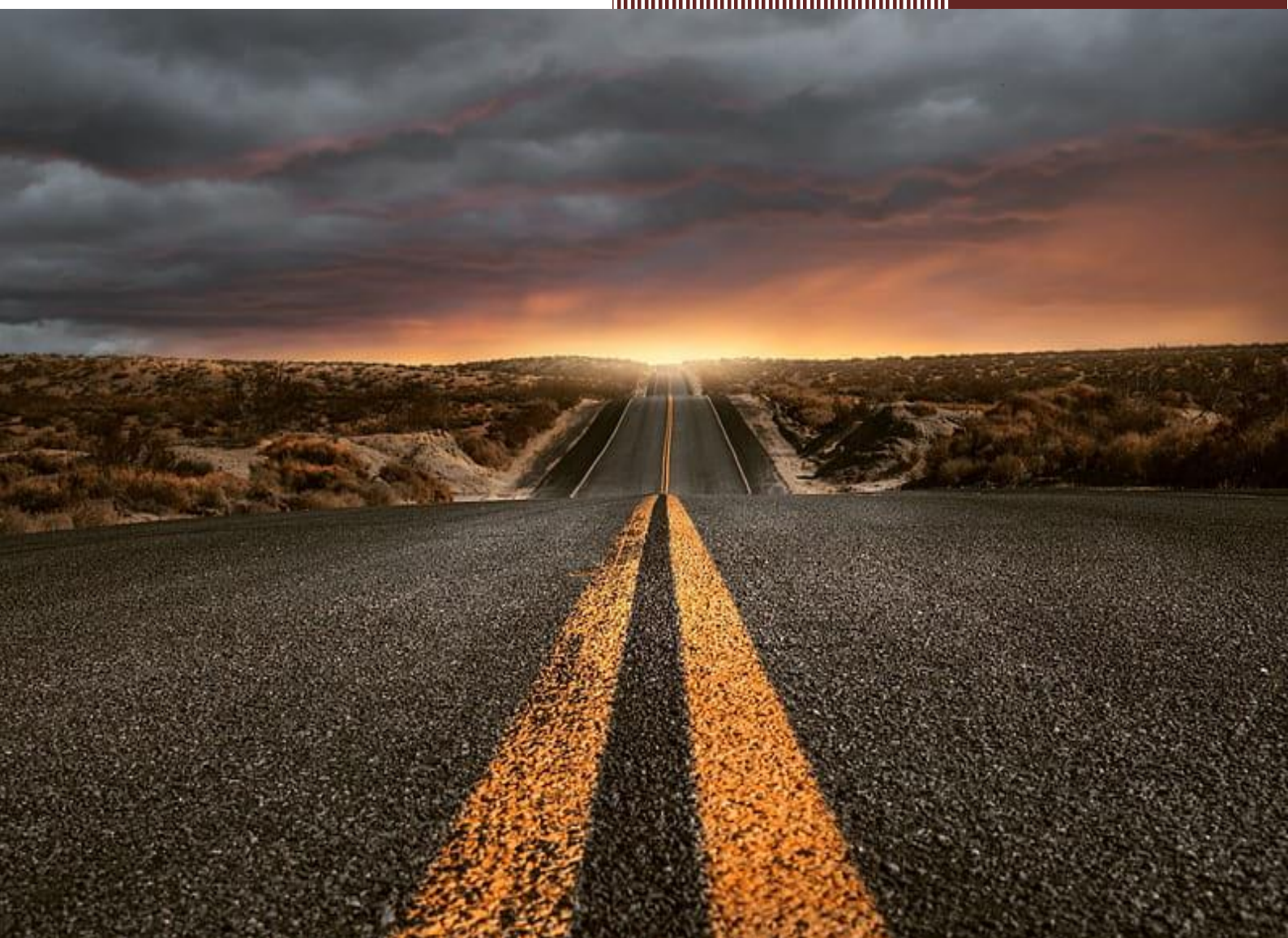




مهندسی روسازی راه



گردآورنده: فاروق ذبیحی
کارشناسی ارشد راه و ترابری

ویرایش دوم

فصل اول

مقدمه و کلیات

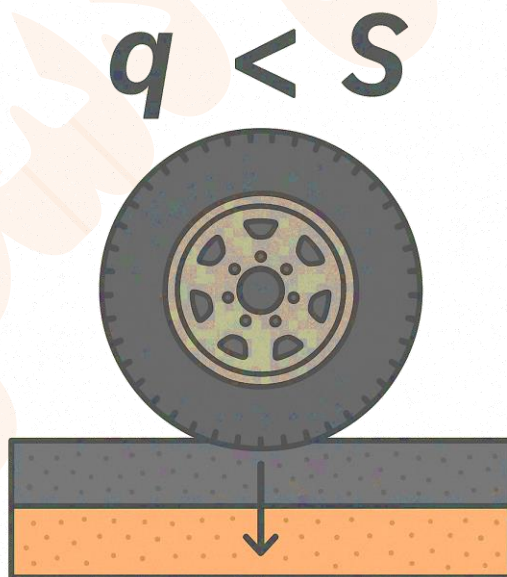
فصل اول

۱-۱- تعریف روسازی

سازه‌ای است که بر روی آخرین لایه متراکم شده خاک زمین طبیعی موجود یا اصلاح شده، خاکریزی‌ها یا کف برش‌های خاکی (ترانشه) یا سنگی که به طور کامل بستر روسازی نامیده می‌شود، قرار می‌گیرد. روسازی راه متشکل از دو بخش خاکریزی و روسازی است که بخش روسازی قشرهای مختلف از جمله زیراساس (Subbase)، اساس (Base) و رویه آسفالتی، بتنی یا ترکیبی از آن‌ها شامل می‌شود که هر یک تابع مشخصات فنی و دارای ضخامت معینی است.

۱-۲- هدف از اجرا و عملکرد روسازی

هنگامی که یک وسیله نقلیه بر روی زمین طبیعی در حال حرکت است، تنش‌هایی در اثر وزن آن به وسیله چرخ به زمین وارد می‌شود. به طور معمول مقاومت خاک، از تنشی که به آن وارد می‌شود، کمتر است و خاک دچار شکست برشی و تغییر شکل می‌شود. بنابراین؛ زمین طبیعی، بستر خاکریزی‌های آماده شده راه، کف برش‌های خاکی و یا سنگی، حتی در شرایط کاملاً متراکم و خوب دانه‌بندی شده، مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارده از چرخ وسیله نقلیه را در شرایط متغیر جوی ندارد. روسازی، از بروز و ظهور آسیب دیدگی‌های ذکر شده جلوگیری نموده و عبور و مرور راحت، سریع، مطمئن، ایمن و بدون گرد و غبار را در یک سطح هموار فراهم می‌کند.



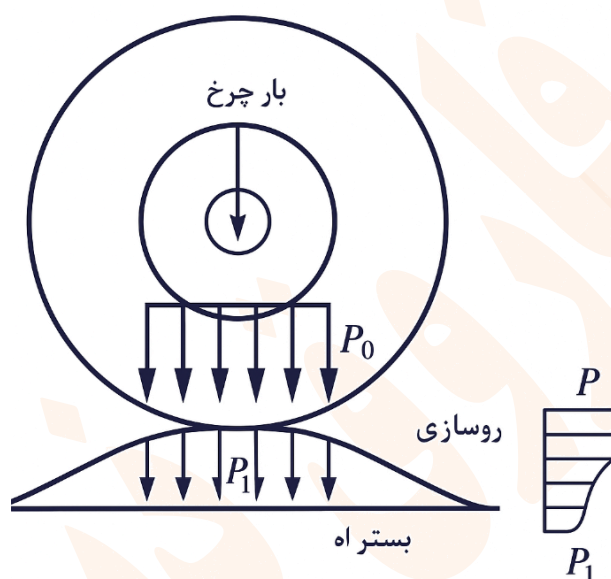
"فشار تماس وارده از طرف چرخ (q) > مقاومت زمین طبیعی (S)"

بار وسیله نقلیه، توسط چرخ وسیله نقلیه در سطح تماس تقریباً دایره‌ای شکل، به سطح روسازی وارد می‌شود. شدت تنش وارده در نقاط واقع در سطح زیر بار حداکثر بوده و با ازدیاد فاصله از این سطح، تقلیل می‌یابد (شکل ۱-۱). اگر فشار قائم در سطح تماس با q نشان داده شود، ضخامت لایه‌های روسازی و کیفیت مقاومتی آن‌ها طوری انتخاب می‌شود که بار

چرخ هر چه بیشتر توزیع و گسترده شده تا حداکثر شدت تنش در سطح بستر روسازی به مقدار q_1 کاهش یابد که خاک بستر بتواند با تغییر شکل مجاز، آن را تحمل کند.

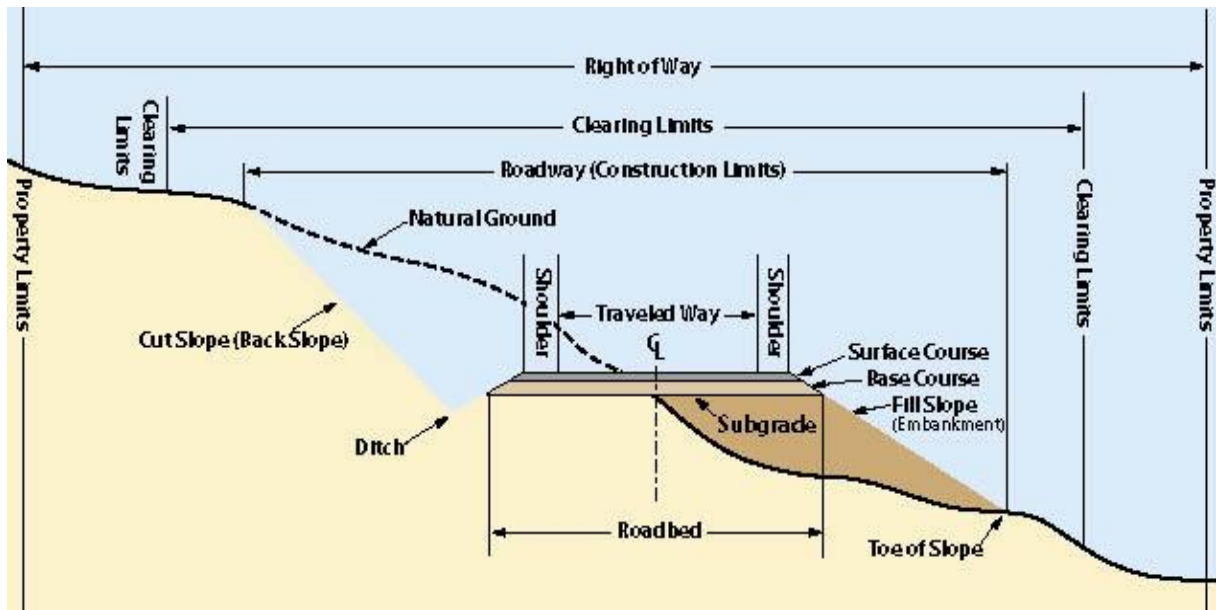
بنابراین هدف از اجرای لایه‌های روسازی:

- هر یک از لایه‌ها باید در برابر تنش‌های وارده، بدون تغییر شکل بیش از اندازه در آن بوجود آید، مقاومت کند.
- هریک از لایه‌ها باید قادر باشد، تنش‌ها را تا میزان قابل تحمل برای لایه‌ای که در زیر آن قرار گرفته، کاهش دهد.



شکل ۱-۱- توزیع فشار بار چرخ در لایه‌های روسازی

بنابراین براساس عملکرد و رفتار سازه روسازی می‌توان روسازی راه را از چندین لایه با مقاومت و مرغوبیت متفاوت طراحی کرد، به نحوی که از مصالح با مرغوبیت و مقاومت بیشتر در لایه‌های بالاتر و مصالح با مرغوبیت و مقاومت کمتر در لایه‌های پایین‌تر، که میزان تنش در آن‌ها کمتر است، استفاده شود. این لایه‌ها به ترتیب از روی خاک بستر تا زیر چرخ اتومبیل در شکل (۱-۲) آورده شده است. لایه رویه (آسفالتی یا بتنی) از مصالح سنگی همراه با مواد چسبنده (مانند قیر یا سیمان) تشکیل شده است. لایه‌های اساس و زیراساس لایه‌هایی هستند که از مصالح سنگی بدون مواد چسبنده تشکیل شده‌اند. این مصالح معمولاً به صورت شن و ماسه طبیعی با دانه‌بندی پیوسته هستند. به لایه‌های اساس و زیراساس، لایه‌های غیر چسبنده روسازی نیز گفته می‌شوند.



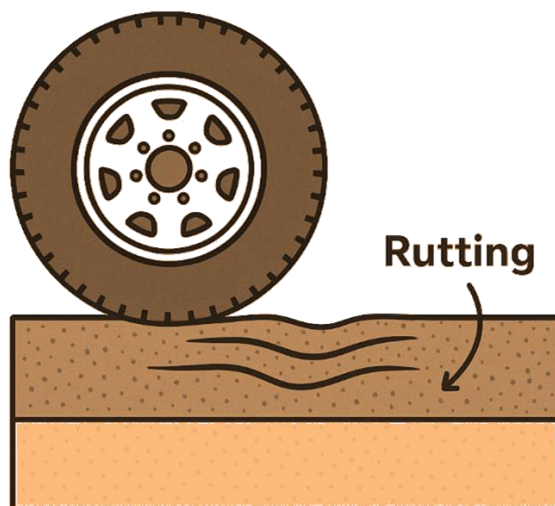
شکل ۱-۳- مقطع کامل روسازی آسفالتی

چند نکته:

- رویه‌های آسفالتی با ضخامت بیشتر از ۵ سانتی‌متر را معمولاً در دولایه اجرا می‌کنند. لایه زیرین را لایه آستر (بندر) و لایه بالایی را لایه رویه (توپکا) می‌نامند.
- اجرای یک لایه آسفالت حفاظتی بر روی لایه رویه را اندود آب بند (سیل کت) می‌نامند.
- پخش یک لایه بسیار نازک قیر محلول روی سطح آسفالتی بین دولایه بندر و توپکا را اندود سطحی (تک کت) می‌گویند.
- پخش یک لایه قیر بر روی لایه اساس را اندود نفوذی (پریم کت) می‌نامند.

۱-۳- تنش‌های ایجاد شده در روسازی

لنگر مثبت: لنگری است که تارهای پایین مقطع را کشیده و تارهای بالایی مقطع را فشار می‌دهد.
 لنگر منفی: لنگری است که تارهای پایینی مقطع را فشار می‌دهد و تارهای بالایی مقطع را می‌کشد.
 با حرکت اتومبیل بر روی یک روسازی، تغییر شکل ناشی از کرنش‌های ایجاد می‌شود که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- تغییر شکل ایجاد شده در اثر تنش‌های زیر چرخ

تحلیل یک روسازی و محاسبه تنش‌ها و تغییر شکل در نقاط مختلف آن، یکی از مهم‌ترین کارهایی است که باید قبل از ساخت روسازی انجام شود. برای این کار، روسازی را به صورت لایه لایه در نظر گرفته و هر چه تعداد لایه‌ها بیشتر در نظر گرفته شود، تحلیل روسازی با دقت بیشتری انجام می‌شود. در مهندسی عمران روش‌های مرسوم برای تحلیل روسازی عبارتند از: الف) سیستم یک لایه‌ای، ب) سیستم دولایه‌ای و ج) سیستم سه لایه‌ای.

۱-۴- تحلیل سیستم‌های لایه‌ای در مهندسی روسازی

در تحلیل مکانیکی روسازی‌ها، شناخت رفتار لایه‌های مختلف تحت اثر بارگذاری‌های ترافیکی از اهمیت بالایی برخوردار است. بسته به سطح دقت مورد نظر و شرایط سازه‌ای روسازی، از مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رفتار مکانیکی مصالح استفاده می‌شود. سه مدل رایج در این زمینه عبارتند از: سیستم یک لایه‌ای، سیستم دولایه‌ای و سیستم سه لایه‌ای. در ادامه، این مدل‌ها به تفصیل بررسی می‌شوند.

۱-۴-۱- سیستم یک لایه‌ای

مدل یک لایه‌ای ساده‌ترین مدل در تحلیل روسازی بوده و در آن فرض می‌شود که روسازی تنها از یک لایه همگن و ایزوتروپیک با خصوصیات مکانیکی ثابت (مانند مدول الاستیسیته E و ضریب پواسون ν) تشکیل شده است که بر روی یک محیط نیمه بی‌نهایت قرار دارد. این مدل بر پایه تئوری بوسینسک برای نیم‌فضای الاستیک توسعه یافته است و برای تحلیل اولیه توزیع تنش‌ها و جابجایی‌ها در مصالح زیر بارگذاری سطحی به کار می‌رود. در این تحلیل، بارگذاری معمولاً به صورت عمودی و دایره‌ای یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. یکی از روابط مهم این مدل، رابطه تنش قائم در نقطه‌ای با مختصات شعاعی r و عمقی z در زیر سطح است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sigma_z = \frac{3\pi z^3}{2\pi(r^2 + z^2)^{5/2}}$$

همچنین میزان جابجایی عمودی در سطح ناشی از بارگذاری دایره‌ای با شعاع a به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\delta = \frac{p(v^2 - 1)}{\pi E a}$$

این مدل به دلیل سادگی درک و تحلیل، معمولاً در آموزش و بررسی مفاهیم پایه‌ای تنش و کرنش در روسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی برای طراحی‌های واقعی به‌تنهایی کافی نیست.

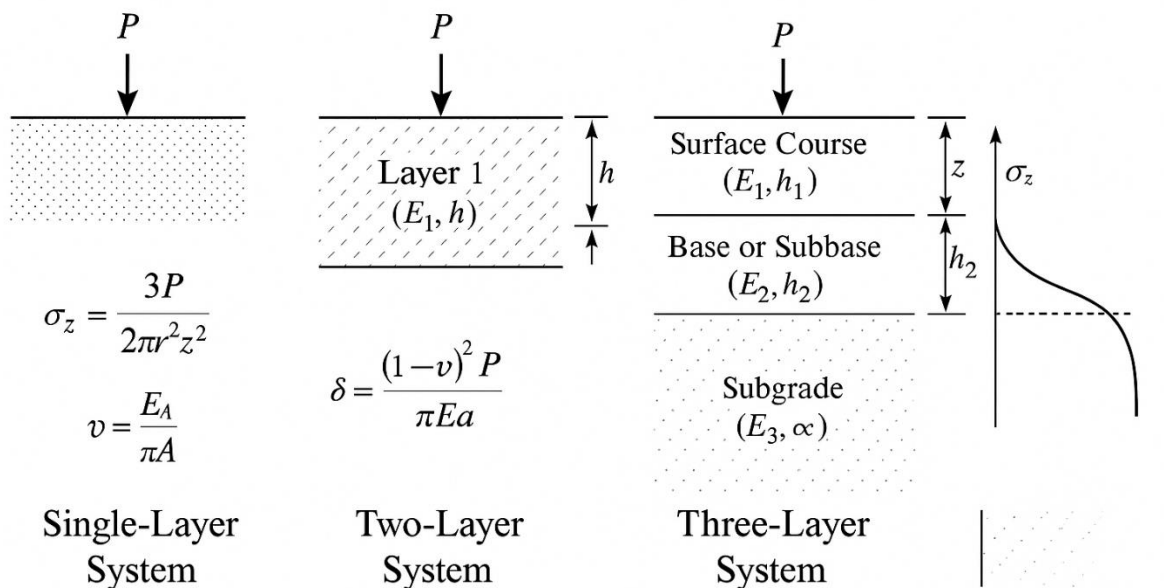
۱-۴-۲- سیستم دولایه‌ای

در مدل دولایه‌ای، فرض می‌شود روسازی از دو لایه متشکل است که هر یک دارای خصوصیات مکانیکی متفاوتی هستند. لایه‌ی اول معمولاً لایه آسفالتی یا بتن آسفالتی بوده که بر روی لایه‌ای با سختی کمتر (مانند لایه اساس) قرار می‌گیرد. این مدل امکان در نظر گرفتن اثر تفاوت سختی بین لایه‌ها و ضخامت نسبی آن‌ها را فراهم می‌سازد. تحلیل آن بر پایه روش **Burmister** بنا شده است که رفتار پیوسته تنش و کرنش در مرز مشترک لایه‌ها را در نظر می‌گیرد. یکی از مفاهیم کلیدی در تحلیل این سیستم، نسبت سختی مدول‌ها است که به صورت $K = \frac{E_1}{E_2}$ تعریف می‌شود. بسته به مقدار این نسبت و ضخامت نسبی لایه‌ها، توزیع تنش‌ها و کرنش‌ها در عمق روسازی متغیر خواهد بود. از آنجایی که روابط تحلیلی دقیق برای این مدل به راحتی قابل استخراج نیستند، اغلب از جدول‌های **Burmister** یا نرم‌افزارهای تحلیلی مانند **KENLAYER** استفاده می‌شود. مدل دولایه‌ای نسبت به مدل یک‌لایه‌ای دقت بیشتری داشته و برای طراحی روسازی‌های ساده یا نیمه‌سنگین کاربرد دارد.

۱-۴-۳- سیستم سه‌لایه‌ای

سیستم سه‌لایه‌ای، مدل پیچیده‌تر و واقع‌بینانه‌تری از تحلیل روسازی است که شامل سه لایه مجزا با خصوصیات فیزیکی و مکانیکی متفاوت می‌باشد: لایه رویه (معمولاً آسفالت)، لایه اساس یا زیر اساس و بستر روسازی (خاک طبیعی). این مدل با در نظر گرفتن ضخامت، مدول الاستیسیته، و رفتار مکانیکی هر لایه، امکان تحلیل دقیق توزیع تنش‌ها و کرنش‌ها را فراهم می‌سازد. در تحلیل این سیستم، فرض می‌شود هر لایه دارای رفتار خطی و الاستیک است، اگرچه در برخی تحلیل‌های پیشرفته می‌توان رفتار غیرخطی و وابسته به زمان نیز در نظر گرفت. روابط تحلیلی برای این مدل بسیار پیچیده هستند و معمولاً به صورت بسته وجود ندارند؛ از این‌رو تحلیل آن عمدتاً با کمک نرم‌افزارهایی مانند **KENLAYER**، **ELSYM5** یا مدل‌های اجزای محدود (FEM) نظیر **ABAQUS** یا **ANSYS** انجام می‌پذیرد. این مدل توانایی بالایی در شبیه‌سازی پاسخ روسازی‌های سنگین مانند بزرگراه‌ها، فرودگاه‌ها، و مسیرهای بارگذاری بالا دارد و برای طراحی نهایی و پیش‌بینی عمر خستگی و تغییر شکل دائمی روسازی‌ها بسیار مناسب است.

مقایسه سیستم‌های ذکر شده در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- تحلیل مقایسه‌ای سیستم‌های یک‌لایه‌ای، دولایه‌ای و سه‌لایه‌ای در روسازی با نمایش روابط تنش و جابجایی

۵-۱- انواع روسازی

- روسازی انعطاف‌پذیر (آسفالتی)؛
- روسازی صلب (بتنی)؛
- روسازی ترکیبی.

۱-۵-۱- روسازی انعطاف‌پذیر (آسفالتی)

روسازی انعطاف‌پذیر یا آسفالتی معمولاً از سه لایه مختلف زیراساس، اساس و آسفالت تشکیل می‌شود. از ویژگی‌های روسازی انعطاف‌پذیر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- دارای مقاومت برشی مناسب؛
- دارای مقاومت کششی بسیار کم؛
- دارای لایه‌های با سختی کم (ضریب ارتجاعی کم).

۲-۵-۱- روسازی صلب (بتنی)

در این نوع روسازی، رویه راه از بتن ساخته می‌شود. دال بتنی در شرایطی که خاک بستر روسازی از کیفیت مقاومتی برخوردار بوده و ترافیک به صورت سنگین و یا خیلی سنگین نباشد، می‌تواند روی بستر و در غیر این صورت بر روی لایه‌های زیراساس یا اساس قرار داده شود. از ویژگی‌های روسازی‌های صلب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- دارای مقاومت فشاری و کششی زیاد؛
- دال بتنی هم به صورت مسلح و هم به صورت غیرمسلح اجرا می‌شود؛
- دارای لایه‌های با سختی (ضریب ارتجاعی) زیاد.

• **روسازی بتنی ساده درزدار (Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP))**

یکی از متداول‌ترین انواع روسازی صلب است که در آن از بتن سیمانی پرتلند به‌عنوان لایه اصلی روسازی استفاده می‌شود. این نوع روسازی فاقد آرماتور طولی ممتد است و برای کنترل ترک‌خوردگی، درزهایی با فواصل مشخص در آن تعبیه می‌شود. روسازی بتنی ساده درزدار (JPCP) یکی از اصلی‌ترین گزینه‌ها برای مسیرهایی است که تحت بارگذاری سنگین و مکرر قرار دارند، مانند باند فرودگاه‌ها، بزرگراه‌ها، پایانه‌های حمل‌ونقل و تقاطع‌های پرتردد. در این نوع روسازی، بتن بدون استفاده از فولاد تقویتی طولی ممتد اجرا می‌شود، ولی با استفاده از درزهای عرضی در فواصل منظم (معمولاً بین ۴/۵ تا ۶ متر) از گسترش ترک‌های کنترل‌نشده جلوگیری می‌شود. هدف از این درزها، هدایت ترک‌خوردگی بتن به محل‌های مشخص و جلوگیری از تمرکز تنش در سطح روسازی است. در برخی موارد، درزهای طولی نیز برای کنترل ترک‌های بین خطوط عبور اجرا می‌شوند. طراحی ضخامت بتن در JPCP معمولاً بر اساس مدل‌های مکانیکی-تجربی مانند روش AASHTO 1993 یا نرم‌افزارهای اختصاصی طراحی روسازی بتنی انجام می‌شود. پارامترهایی نظیر ترافیک سنگین معادل (ESALs)، مقاومت فشاری بتن، مدول واکنش زیرسازی، ضریب پواسون، مدول الاستیسیته بتن و شرایط اقلیمی در طراحی دخالت دارند. معمولاً ضخامت این روسازی‌ها در محدوده ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بسته به میزان ترافیک و نوع زیرسازی متغیر است. از نظر اجرایی، آماده‌سازی زیرسازی یکنواخت و دارای مدول عکس‌العمل مشخص اهمیت بالایی دارد، زیرا هرگونه تغییر در سختی بستر باعث تمرکز تنش و ترک‌خوردگی زودرس خواهد شد. بتن باید با کنترل دقیق نسبت آب به سیمان، دمای بتن، روش‌های عمل‌آوری و زمان‌بندی درزگذاری اجرا شود. عمل‌آوری بتن (Curing) نقش کلیدی در جلوگیری از جمع‌شدگی پلاستیک و ترک‌های حرارتی دارد. مزیت اصلی JPCP نسبت به روسازی‌های آسفالتی در دوام بسیار بالای آن و مقاومت در برابر تغییر شکل دائمی است. با این حال، درزهای متعدد نیازمند نگهداری و آب‌بندی دوره‌ای هستند و در صورت اجرا یا نگهداری نامناسب، باعث ایجاد صدا و ناهمواری در سطح راه می‌شوند. به طور کلی، این نوع روسازی در پروژه‌هایی با طول عمر طراحی بالا و بارگذاری شدید، بسیار اقتصادی و کارآمد ارزیابی می‌شود.

• **روسازی بتنی مسلح درزدار (Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP))**

یکی از انواع روسازی‌های صلب است که ترکیبی از بتن سیمانی پرتلند و آرماتور فولادی در طول پانل‌های بتنی دارد، در حالی که مانند JPCP همچنان از درزهای کنترل‌شده برای مدیریت ترک‌ها استفاده می‌شود. این نوع روسازی برای افزایش فاصله بین درزهای عرضی و کنترل بهتر ترک‌ها در طول روسازی طراحی شده و نسبت به JPCP دارای عملکرد

متفاوت و پیچیده‌تری است. روسازی بتنی مسلح درزدار (JRCP) نوعی روسازی صلب است که در آن، علاوه بر درزهای عرضی کنترل‌شده، از آرماتورهای فولادی درون صفحات بتنی برای کنترل ترک‌های تصادفی و محدود کردن بازشدگی ترک‌ها استفاده می‌شود. هدف اصلی استفاده از میلگردهای فولادی در JRCP، کاهش تعداد درزهای عرضی و افزایش فاصله آن‌ها (تا حدود ۱۵ متر یا بیشتر) نسبت به روسازی‌های بتنی ساده درزدار (JPCP) است. این امر باعث می‌شود صفحات بزرگ‌تری ایجاد شده و هزینه‌های اجرایی مربوط به درزگذاری کاهش یابد، هرچند هزینه مربوط به آرماتور تا حدی این صرفه‌جویی را تعدیل می‌کند. آرماتورها معمولاً به صورت مش فولادی یا میلگردهای منفرد در امتداد طولی روسازی قرار می‌گیرند و هدف اصلی آن‌ها کنترل عرض ترک‌های تصادفی ناشی از انقباض بتن و تنش‌های حرارتی است. ترک‌ها در JRCP مجاز به وقوع هستند اما باید در حد مجاز (معمولاً کمتر از ۰.۵ میلی‌متر) باقی بمانند تا از نفوذ آب، مواد خورنده و کاهش یکپارچگی روسازی جلوگیری شود. از آنجا که ترک‌ها در این نوع روسازی پیش‌بینی‌ناپذیرند، موقعیت آن‌ها قابل برنامه‌ریزی نیست، اما آرماتورها مانع از گسترش بیش از حد ترک‌ها می‌شوند. همانند JPCP، درزهای عرضی در JRCP نیز معمولاً با میله‌های داول تجهیز می‌شوند تا انتقال بار میان صفحات بتنی به خوبی صورت گیرد. درزهای طولی نیز برای حفظ پیوستگی عرضی، با استفاده از میلگردهای کراکی یا Tie Bar تقویت می‌شوند. ضخامت معمول بتن در این نوع روسازی مشابه JPCP بوده و در محدوده ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر قرار دارد، اما مقدار فولاد مصرفی در هر مترمربع بین ۰.۱۵ تا ۰.۲۵ درصد وزن بتن است که بسته به شرایط طراحی تغییر می‌کند. در طراحی JRCP از همان اصول روش AASHTO استفاده می‌شود، ولی پارامترهایی نظیر مقدار فولاد تقویتی، توزیع ترک‌ها، فاصله درزها، مدول واکنش بستر و شرایط انقباض بتن با دقت بیشتری در نظر گرفته می‌شوند. از آنجا که صفحات طولانی‌تر هستند، تحلیل تنش‌های حرارتی و جمع‌شدگی حجمی بتن اهمیت بیشتری می‌یابد. از نظر اجرایی، اجرای JRCP نیازمند دقت بالا در جای‌گذاری میلگردها، تضمین پوشش مناسب بتن و اجرای صحیح عمل‌آوری است. زمان‌بندی مناسب برای درزگذاری، استفاده از برش با اره و کنترل شرایط دمایی هنگام بتن‌ریزی اهمیت حیاتی دارد. یکی از چالش‌های اجرایی JRCP، دشواری در تعمیر ترک‌های تصادفی و ردیابی آن‌ها در طول زمان است. در مجموع، JRCP برای مسیریابی با بارگذاری شدید، طول عمر طولانی و شرایطی که کاهش تعداد درزها مزیت اجرایی یا عملکردی دارد (مثل باندهای فرودگاه یا مسیرهای پرتردد) مناسب است. با این حال، به دلیل هزینه‌های بالاتر و پیچیدگی اجرایی بیشتر نسبت به JPCP، استفاده از آن معمولاً به پروژه‌های خاص محدود می‌شود.

• روسازی بتنی مسلح پیوسته (Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP))

این نوع روسازی پیشرفته‌ترین نوع روسازی صلب است که در آن برخلاف دیگر انواع روسازی‌های بتنی، درزهای عرضی کنترلی وجود ندارد و در عوض، از مقدار زیادی میلگرد فولادی طولی استفاده می‌شود تا ترک‌های حرارتی و جمع‌شدگی طبیعی بتن در محل خود نگه داشته شده و از باز شدن بیش از حد آن‌ها جلوگیری شود. این سیستم به دلیل دوام بسیار بالا و کاهش هزینه‌های نگهداری در بلندمدت، گزینه‌ای ایده‌آل برای مسیریابی با ترافیک بسیار سنگین و عمر طراحی

بالا به شمار می‌رود. روسازی بتنی مسلح پیوسته (CRCP) نوعی روسازی صلب است که در آن، بر خلاف روسازی‌های JPCP و JRCP، درزهای عرضی برنامه‌ریزی شده تعبیه نمی‌شود. بتن به‌صورت پیوسته در طول مسیر ریخته می‌شود و ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی بتن و تغییرات دمایی به صورت طبیعی ایجاد می‌شوند. وظیفه کنترل و محدود کردن بازشدگی این ترک‌ها به عهده میلگردهای فولادی طولی است که با درصدی بین ۰.۶ تا ۰.۸ درصد وزن بتن در تمام طول روسازی قرار می‌گیرند. این میلگردها ترک‌های تصادفی را در محل خود نگه داشته، از بازشدگی بیش از ۰.۵ میلی‌متر جلوگیری می‌کنند و باعث می‌شوند روسازی یکپارچگی طولی خود را حفظ کند. ترک‌ها در CRCP به‌طور یکنواخت و با فواصل تقریباً منظم (معمولاً هر ۱.۵ تا ۲.۵ متر) ایجاد می‌شوند و به دلیل کنترل بازشدگی، اغلب بدون نیاز به آب‌بندی باقی می‌مانند. برای کنترل تنش‌های عرضی، در برخی موارد از میلگردهای عرضی یا کراک بار (tie bars) نیز استفاده می‌شود، ولی تمرکز اصلی طراحی روی فولاد طولی است. چون این نوع روسازی درز ندارد، مشکلات رایج مربوط به درزها مانند سر و صدای ناشی از عبور وسایل نقلیه، نشست آب، خرابی لبه‌ها و نیاز به آب‌بندی مکرر حذف می‌شود. طراحی ضخامت و میزان فولاد در CRCP بسیار حساس و دقیق است و بر پایه‌ی مدل‌های مکانیکی پیشرفته مانند روش AASHTO 93 یا مکانیک شکست بتن انجام می‌گیرد. پارامترهای کلیدی طراحی شامل میزان بارهای معادل (ESAL)، مقاومت بتن، مدول واکنش بستر (k-value)، مدول الاستیسیته فولاد و بتن و شرایط دمایی و اقلیمی محل پروژه هستند. ضخامت بتن معمولاً بین ۲۲ تا ۳۲ سانتی‌متر طراحی می‌شود، اما در بزرگراه‌های سنگین‌بار حتی به بیش از ۳۵ سانتی‌متر هم می‌رسد. از نظر اجرایی، اجرای CRCP نیازمند دقت بالا و تجهیزات خاص برای چیدمان میلگردهای طولی به‌صورت پیوسته و دقیق است. همچنین عمل‌آوری بتن باید بسیار مؤثر باشد، چون وجود ترک‌های پیش‌بینی نشده یا نامنظم می‌تواند عملکرد بلندمدت روسازی را مختل کند. یکی از چالش‌های اجرایی این نوع روسازی، حجم زیاد آرماتور و دشواری در حمل، چیدمان و جای‌گذاری آن‌هاست. اما در عوض، به دلیل عدم نیاز به نگهداری درزها و مقاومت بالا در برابر نشست، ترک‌های باز و تغییرات حجمی، هزینه نگهداری آن در بلندمدت بسیار کمتر از انواع دیگر است. CRCP به‌ویژه در مسیرهای استراتژیک و ترافیک بالا نظیر بزرگراه‌های بین‌شهری، باندهای پرواز فرودگاه‌ها و مسیرهای حمل‌ونقل سنگین ترجیح داده می‌شود. در کشورهایی مانند آمریکا، استفاده از این نوع روسازی در بزرگراه‌های بین‌ایالتی به دلیل عملکرد عالی آن بسیار رایج است. طول عمر طراحی آن معمولاً بیش از ۴۰ سال است و در صورت اجرای صحیح، نیاز چندانی به تعمیرات اساسی در طول عمر بهره‌برداری ندارد.

• روسازی بتنی پیش‌تنیده (Prestressed Concrete Pavement (PCP))

روسازی بتنی پیش‌تنیده نوعی از روسازی صلب است که با اعمال تنش‌های فشاری مصنوعی در بتن، عملکرد مکانیکی بهتری در برابر ترک‌خوردگی، جمع‌شدگی و تنش‌های ناشی از بارگذاری ترافیکی و حرارتی فراهم می‌کند. این سیستم، ترکیبی از فناوری پیش‌تنیدگی در بتن و روش‌های مهندسی روسازی است و اگرچه اجرای آن پیچیده‌تر و پرهزینه‌تر از سایر روش‌های متداول است، اما در شرایط خاص و برای کاربردهایی با نیاز به عملکرد بسیار بالا، گزینه‌ای ممتاز به شمار

می‌رود. روسازی بتنی پیش‌تنیده (PCP) نوعی روسازی صلب است که در آن با استفاده از کابل‌ها یا سیم‌های فولادی، تنش فشاری اولیه‌ای به بتن وارد می‌شود تا اثرات تنش‌های کششی که معمولاً باعث ترک‌خوردگی بتن می‌شوند، خنثی شود. این تنش‌ها به‌صورت پیش‌تنیده (قبل از بتن‌ریزی) یا پس‌تنیده (بعد از سخت شدن بتن) به سازه وارد می‌شوند. در نتیجه، سطح بتن در حالت اولیه تحت فشار قرار می‌گیرد و مقاومت بسیار بالایی در برابر ترک‌های ناشی از بارگذاری، تغییرات حرارتی و جمع‌شدگی حجمی پیدا می‌کند. در PCP، طول صفحات بتنی می‌تواند بسیار بیشتر از روسازی‌های معمولی باشد (تا ۱۰۰ متر یا بیشتر) بدون اینکه نیازی به درز عرضی باشد. این ویژگی منجر به کاهش چشمگیر تعداد درزها و در نتیجه کاهش مشکلات رایج مربوط به درزها مانند نفوذ آب، خرابی لبه‌ها و هزینه‌های نگهداری می‌شود. همچنین با توجه به اعمال نیروی پیش‌تنیدگی، ضخامت مورد نیاز روسازی معمولاً کمتر از سایر انواع روسازی صلب بوده و در عین کاهش ضخامت، ظرفیت باربری و دوام بیشتری ایجاد می‌شود. در طراحی این نوع روسازی، مهندس باید نوع سیستم پیش‌تنیدگی (پس‌تنیده یا پیش‌تنیده)، نیروی لازم برای اعمال به کابل‌ها، نحوه‌ی چیدمان کابل‌ها، مدول واکنش بستر، بارگذاری ترافیکی و رفتار حرارتی بتن را به دقت بررسی کند. محاسبات طراحی شامل تحلیل نیروهای داخلی در بتن، بررسی پایداری ترک‌ها و بررسی خزش و جمع‌شدگی بلندمدت است. طراحی دقیق و اجرای صحیح کابل‌های فولادی با رعایت دقیق پروتکل‌های ایمنی و کنترل کیفیت از مهم‌ترین بخش‌های این فرآیند است. از نظر اجرایی، اجرای PCP نسبت به سایر انواع روسازی‌ها پیچیده‌تر، تخصصی‌تر و نیازمند تجهیزات خاص برای کشیدن و مهار کابل‌ها است. همچنین کنترل دقیق مقاومت اولیه بتن، استفاده از جک‌های هیدرولیکی و آنکورینگ‌ها و عمل‌آوری کامل بتن اهمیت زیادی دارد. با این حال، اگر این مراحل با دقت انجام شود، نتیجه‌ی آن یک سیستم روسازی با دوام بسیار بالا، ترک‌خوردگی محدود و سطحی صاف و یکنواخت در طول زمان بهره‌برداری خواهد بود. PCP عمدتاً در پروژه‌های خاص مانند باند فرودگاه‌ها، پایانه‌های کانتینری، مسیرهای صنعتی سنگین و مناطقی با محدودیت تعمیر و نگهداری در آینده استفاده می‌شود. اگرچه هزینه اولیه آن بالاتر از سایر روش‌هاست، اما در پروژه‌هایی که طول عمر بالا، دوام و عملکرد بدون نقص اهمیت دارد، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه خواهد بود.

• روسازی بتنی پیش‌ساخته (Precast concrete pavement)

روسازی بتنی پیش‌ساخته نوعی سیستم نوین در مهندسی روسازی صلب است که در آن پانل‌های بتنی در کارخانه یا محیط‌های کنترل‌شده تولید شده و سپس در محل نصب می‌شوند. این روش به‌خصوص در پروژه‌هایی که محدودیت زمانی برای اجرای روسازی دارند (مانند باند فرودگاه‌ها، بزرگراه‌های پرتراфик یا مسیرهای شهری حیاتی)، کاربرد بسیار موثری دارد. در این سیستم، بر خلاف بتن‌ریزی درجا، فرآیند بتن‌ریزی و عمل‌آوری در خارج از محل انجام شده و کیفیت بتن به‌طور قابل توجهی بهتر و یکنواخت‌تر خواهد بود. در این نوع روسازی، پانل‌های بتنی آماده با ابعاد مشخص، ضخامت مناسب و آرماتور طراحی‌شده، در کارخانه‌های پیش‌ساخته یا کارگاه‌های نزدیک محل پروژه تولید می‌شوند. این پانل‌ها معمولاً از بتن با مقاومت بالا ساخته شده و در شرایط کنترل‌شده (کنترل دقیق دما، رطوبت، لرزش و نسبت آب به سیمان)

عمل‌آوری می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود که کیفیت نهایی بتن، تراکم و دوام آن بسیار بهتر از بتن‌ریزی در محل باشد و در نتیجه عمر روسازی افزایش یابد. نصب این پانل‌ها در محل پروژه معمولاً به‌وسیله جرثقیل یا تجهیزات حمل و نصب تخصصی انجام می‌گیرد. در زیر هر پانل، یک لایه بستر دقیقاً تراز شده (معمولاً بستر تثبیت‌شده یا لایه‌های سیمانی نازک) آماده‌سازی می‌شود. برای اتصال پانل‌ها به یکدیگر از میله‌های داول، میلگردهای پیوندی یا در برخی موارد از روش‌های اتصال مکانیکی مانند پیچ و مهره‌های پس‌تنیده نیز استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین مزایای این سیستم، سرعت بالای اجرا است. در پروژه‌هایی که نیاز به بازگشایی سریع مسیر به روی ترافیک دارند، مانند تعمیرات اضطراری یا پروژه‌های شبانه شهری، روسازی بتنی پیش‌ساخته یک گزینه بی‌رقیب محسوب می‌شود. مثلاً، در برخی از پروژه‌های بزرگراهی در آمریکا، در یک شب بیش از ۵۰ متر از مسیر روسازی با پانل‌های پیش‌ساخته جایگزین شده و تا صبح بازگشایی شده است.

از دیگر مزایای مهم این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کیفیت بالا و یکنواختی بتن به‌دلیل تولید در شرایط صنعتی
- کاهش زمان اجرای پروژه و کاهش اختلالات ترافیکی
- امکان نصب در هر شرایط آب‌وهوایی (زیرا عمل‌آوری بتن قبلاً انجام شده)
- افزایش کنترل بر ترک‌خوردگی و یکپارچگی لایه‌ها
- قابلیت تعمیر و تعویض آسان پانل‌های آسیب‌دیده

با این حال، این نوع روسازی بدون چالش هم نیست. هزینه اولیه بالاتر (به دلیل هزینه‌های تولید، حمل و نصب پانل‌ها)، نیاز به تجهیزات سنگین و دقیق برای حمل‌ونقل و نصب و حساسیت بالا به تراز بودن بستر زیرین از جمله چالش‌های اجرایی این روش هستند. اگر بستر به‌درستی آماده‌سازی نشود، ممکن است تنش‌های ناخواسته در پانل ایجاد شده یا افت عملکرد در اتصال بین پانل‌ها رخ دهد. روسازی بتنی پیش‌ساخته بیشتر در مواردی مانند تعمیرات سریع در آزادراه‌ها، باند فرودگاه‌ها با محدودیت زمانی، تقاطع‌های شهری پرتراфик، پایانه‌های باربری و لجستیکی و مناطق صنعتی و نظامی کاربرد دارد.

• **روسازی بتنی غلتکی (Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP))**

روسازی بتنی غلتکی یکی از انواع نوین روسازی صلب است که ترکیبی از خواص فنی بتن سیمانی و سهولت اجرای آسفالت گرم را ارائه می‌دهد. این نوع روسازی با استفاده از بتنی با اسلامپ بسیار کم (نزدیک به صفر) ساخته می‌شود که قابلیت ریختن با ماشین‌های آسفالت‌ریز و متراکم‌سازی با غلتک‌های سنگین را دارد. RCCP گزینه‌ای اقتصادی، بادوام و سریع‌الاجرا برای مسیرهایی با بارگذاری بالا مانند جاده‌های صنعتی، معادن، ترمینال‌های کانتینری، جاده‌های روستایی، و محوطه‌های پارکینگ است. روسازی RCC بر پایه استفاده از بتن کم‌آب، بسیار خشک و فاقد روانی طراحی شده است که به‌صورت لایه‌ای روی سطح راه پخش می‌شود و به جای ویبره یا قالب‌بندی مرسوم، توسط غلتک‌های ارتعاشی و

استاتیکی متراکم می‌شود. این روش مشابه اجرای آسفالت گرم است اما به‌جای قیر، سیمان به عنوان چسباننده عمل می‌کند. نسبت آب به سیمان معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۴ است و برای افزایش چسبندگی و تراکم، گاهی از مواد افزودنی مانند خاکستر بادی یا سرباره استفاده می‌شود.

یکی از ویژگی‌های کلیدی RCC این است که احتیاج به قالب‌بندی جانبی، آرماتورگذاری یا درزهای کنترل‌شده ندارد. در نتیجه، سرعت اجرا بسیار بالا رفته و هزینه‌ها نیز کاهش می‌یابد. این ویژگی‌ها RCC را به گزینه‌ای مناسب برای پروژه‌هایی با نیاز به بهره‌برداری سریع و هزینه محدود تبدیل می‌کند. پس از متراکم شدن، سطح RCC می‌تواند به همان صورت باقی بماند یا برای بهبود دوام و عملکرد سطحی، با لایه‌ای از آسفالت گرم یا پوشش دوغابی یا سطح‌زنی پوشانده شود. RCC به دلیل مقاومت بالا در برابر بارهای سنگین، تغییر شکل‌های دائمی (روت)، فرسایش و سوختگی سطحی، به‌ویژه در مسیرهای صنعتی سنگین یا مکان‌هایی که تردد ماشین‌آلات سنگین وجود دارد، گزینه‌ای مطلوب است. عمر مفید این نوع روسازی معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ سال برآورد می‌شود و نگهداری آن در طول زمان نسبتاً آسان است. همچنین با کاهش ترک‌خوردگی، افت سطح و نفوذپذیری، عملکرد بسیار خوبی در برابر شرایط آب‌وهوایی و یخ‌زدگی ارائه می‌دهد. از نظر اقتصادی، RCC در مقایسه با روسازی بتنی معمولی دارای هزینه ساخت کمتر و سرعت اجرای بیشتر است. این در حالی است که نسبت به آسفالت گرم، عمر مفید بیشتری دارد و نیاز کمتری به نگهداری مکرر دارد. برای اجرای موفق RCC، نیاز به تجهیزات تخصصی مانند کارخانه‌های بچینگ دقیق، ماشین‌آلات پخش‌کننده بتن RCC، غلتک‌های سنگین و سیستم‌های پاشش عمل‌آورنده یا پوشش سطحی وجود دارد.

چالش‌های اصلی در اجرای RCC شامل:

- اطمینان از تراکم کامل در لبه‌های لایه‌ها
- جلوگیری از ایجاد ترک در درزهای طولی
- نیاز به کنترل دقیق نسبت آب به سیمان و دانه‌بندی مصالح
- همچنین عمل‌آوری دقیق و سریع بتن برای جلوگیری از ترک‌های سطحی است.

RCCP در پروژه‌هایی مانند:

- جاده‌های دسترسی به معادن و صنایع
- پایانه‌های بار و کانتینر
- پارکینگ‌های سنگین
- جاده‌های روستایی کم‌ترافیک
- گاهی حتی در باندهای فرودگاهی نظامی یا موقت

به‌خوبی قابل استفاده است.

• روسازی بتنی نفوذپذیر (Pervious concrete or Porous concrete)

روسازی بتنی نفوذپذیر که گاهی با عنوان بتن متخلخل یا Porous Concrete نیز شناخته می‌شود، نوعی روسازی صلب است که به گونه‌ای طراحی شده تا آب باران و روان آب سطحی را از طریق ساختار متخلخل خود به لایه‌های زیرین خاک هدایت کند. این ویژگی باعث کاهش روان آب‌های سطحی، کنترل سیلاب شهری، تغذیه آب‌های زیرزمینی، و بهبود کیفیت آب می‌شود. روسازی بتنی نفوذپذیر عمدتاً برای مناطق شهری با سطح غیرقابل نفوذ بالا طراحی شده و بخشی از راهکارهای توسعه پایدار و مدیریت آب‌های سطحی در محیط‌های شهری است. این نوع بتن با حذف یا کاهش میزان ماسه از طرح اختلاط و استفاده از سنگدانه‌های درشت‌دانه و چسبندگی بالا طراحی می‌شود. ساختار بتن حفره‌دار با تخلخل ۱۵ تا ۲۵ درصد باعث می‌شود که آب بتواند به راحتی از میان آن عبور کند. بر خلاف بتن‌های متراکم معمولی، این نوع بتن کاملاً غیرمتراکم بوده و به صورت هدایت‌شونده آب را از سطح به داخل زمین انتقال می‌دهد. در نتیجه، دیگر نیازی به شبکه‌های زهکشی گسترده یا کانال‌های آب‌رو در کنار این نوع روسازی نیست. مزایای اصلی این نوع روسازی شامل:

- کاهش روان آب سطحی و در نتیجه کنترل سیلاب
 - جلوگیری از ایجاد گودال‌ها و برکه‌های موقت روی سطح جاده
 - افزایش نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی
 - کاهش نیاز به سیستم زهکشی و زیرساخت‌های پرهزینه
 - افزایش ایمنی با کاهش آب‌ماندگی و لغزندگی سطح
 - کاهش اثر جزیره گرمایی شهری به دلیل رنگ روشن سطح و خاصیت تبخیر
- از نظر اجرایی، روسازی بتنی نفوذپذیر نیازمند آماده‌سازی بستر دقیق است. در زیر این روسازی معمولاً یک یا چند لایه سنگدانه دانه‌بندی شده به عنوان بستر زهکش قرار می‌گیرد. این بستر هم وظیفه تحمل بار را دارد و هم مخزنی برای ذخیره موقت آب پیش از نفوذ به خاک زیرین عمل می‌کند. نکته کلیدی در اجرای بتن متخلخل، عمل‌آوری سریع و دقیق برای جلوگیری از تبخیر بیش از حد و کاهش مقاومت بتن است. همچنین، به دلیل تخلخل زیاد، مقاومت فشاری این نوع بتن معمولاً کمتر از بتن معمولی است (حدود ۱۰ تا ۲۰ مگاپاسکال)، بنابراین برای مسیرهای با ترافیک سنگین توصیه نمی‌شود. بیشتر در پارکینگ‌ها، پیاده‌روها، خیابان‌های کم‌تردد، مسیرهای دوچرخه‌سواری، پارک‌ها و محوطه‌های عمومی کاربرد دارد.

از چالش‌های این نوع روسازی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- گرفتگی حفرات در طول زمان به دلیل تجمع رسوبات یا مواد ریز
- محدودیت مقاومت فشاری و خمشی نسبت به بتن معمولی
- نیاز به نگهداری منظم (مانند شست‌وشوی فشار بالا یا جاروب مکنده)
- حساسیت زیاد به شرایط اختلاط، اجرا و عمل‌آوری

به همین دلیل، توصیه می‌شود در طراحی و اجرای این نوع روسازی، مطالعات خاک‌شناسی، اقلیم و هیدرولوژی منطقه به‌خوبی انجام گیرد. همچنین استفاده از ژئوتکستایل‌ها در زیرلایه برای جلوگیری از انتقال ریزدانه‌ها به سیستم زهکشی مفید است.

• روسازی‌های بتنی حاوی الیاف (بتن الیافی)

روسازی‌های بتنی حاوی الیاف یا روسازی با بتن الیافی (FRCP) نوعی از روسازی صلب است که در آن، برای بهبود خواص مکانیکی بتن به‌ویژه در برابر ترک‌خوردگی، تنش‌های حرارتی و مقاومت خمشی، از انواع مختلف الیاف (فلزی، پلیمری، شیشه‌ای یا طبیعی) در ترکیب بتن استفاده می‌شود. بتن الیافی در واقع ترکیبی است از بتن سیمانی معمولی و الیاف ریز پخش شده به صورت تصادفی در کل حجم بتن، که باعث ایجاد یک مصالح شبه کامپوزیت با عملکرد بهبودیافته می‌گردد. در روسازی بتنی، ترک‌خوردگی زود هنگام یکی از نگرانی‌های اصلی است، به‌ویژه در شرایطی که تنش‌های حرارتی، بارهای سنگین ترافیکی یا انقباض‌های حجمی زیاد باشد. الیاف موجود در بتن عملکردی شبیه آرماتورهای ریز دارند که در مقیاس میکرو، انتشار ترک‌ها را محدود کرده و انرژی شکست را افزایش می‌دهند. این الیاف معمولاً در هنگام ساخت بتن و پیش از ریختن به مخلوط اضافه می‌شوند و نیازی به چیدمان خاصی ندارند.

انواع رایج الیاف مورد استفاده در روسازی بتن عبارتند از:

- الیاف فولادی: افزایش مقاومت خمشی و ضربه‌پذیری، مناسب برای بارگذاری سنگین
 - الیاف پلی‌پروپیلن (PP): بهبود مقاومت در برابر جمع‌شدگی و ترک‌های حرارتی اولیه
 - الیاف شیشه‌ای: مناسب برای کنترل ترک‌خوردگی سطحی و مقاومت شیمیایی بالا
 - الیاف بازالتی یا طبیعی: در برخی کاربردهای خاص و سازگار با محیط زیست
- استفاده از بتن الیافی در روسازی می‌تواند منجر به کاهش یا حذف آرماتورگذاری سنتی شود، خصوصاً در روسازی‌های کم‌بار یا صنعتی. همچنین می‌توان فواصل بین درزها را افزایش داد، که موجب بهبود یکپارچگی سازه‌ای روسازی و کاهش هزینه‌های درزگیری و نگهداری می‌شود.

مزایای استفاده از بتن الیافی در روسازی:

- کاهش چشمگیر ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی و حرارت
 - افزایش مقاومت کششی و خمشی بتن
 - افزایش جذب انرژی و شکل‌پذیری بتن (ductility)
 - افزایش دوام در برابر یخ‌زدگی، ذوب و حملات شیمیایی
 - کاهش ضخامت روسازی در طراحی در مقایسه با بتن بدون الیاف
- کاربردهای رایج FRCP شامل روسازی‌های صنعتی و سنگین (محوطه‌های کانتینری، کارخانه‌ها)، فرودگاه‌ها و باندهای نظامی، محوطه‌سازی شهری، پارکینگ‌ها و محوطه‌های تجاری، ترمیم و لایه‌برداری روسازی‌های قدیمی می‌باشد.

با این حال، استفاده از بتن الیافی نیز دارای چالش‌هایی است. از جمله این چالش‌ها به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- پراکندگی غیر یکنواخت الیاف در صورت عدم اختلاط صحیح
- افزایش چسبندگی مخلوط و سختی در کارپذیری
- نیاز به تجهیزات خاص در بعضی مواقع برای ریختن و تراکم
- هزینه بالاتر الیاف نسبت به بتن معمولی

در طرح اختلاط بتن الیافی، نسبت الیاف معمولاً بین ۵/۰ تا ۲ درصد وزنی سیمان است. در پروژه‌هایی با بارگذاری سنگین یا نیاز به عملکرد بالا، استفاده ترکیبی از الیاف مختلف نیز توصیه می‌شود. به عنوان مثال، ترکیب الیاف فولادی برای مقاومت خمشی و الیاف پلی‌پروپیلن برای کنترل ترک‌خوردگی زود هنگام بسیار پرکاربرد است.

• روسازی بتنی حاوی گوگرد (بتن گوگردی)

روسازی بتنی حاوی گوگرد که به بتن گوگردی معروف است، یکی از روش‌های نوین و پیشرفته در ساخت روسازی‌های صلب محسوب می‌شود که در آن به جای سیمان از گوگرد مذاب به عنوان ماده چسباننده استفاده می‌شود. در این روش، گوگرد در دمای حدود ۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه سلسیوس ذوب شده و با سنگدانه‌های دانه‌بندی شده و مقاوم مخلوط می‌شود. مخلوط داغ در محل روسازی ریخته و پس از سرد شدن سریع، بتن به سرعت سخت و مقاوم می‌شود. از مزایای برجسته بتن گوگردی، سرعت بسیار بالای گیرش و رسیدن به مقاومت نهایی است که می‌تواند طی چند دقیقه تا چند ساعت اتفاق بیفتد؛ این ویژگی موجب کاهش قابل توجه زمان تعطیلی مسیرها و تسریع روند اجرای پروژه‌های راه‌سازی می‌شود. بتن گوگردی از نظر عملکردی مقاومت بسیار خوبی در برابر سایش و فرسایش دارد و بنابراین برای روسازی مسیرهای پرتردد، باندهای فرودگاه، محوطه‌های صنعتی و جاده‌های پر ترافیک بسیار مناسب است. همچنین، این نوع بتن مقاومت شیمیایی عالی در برابر اسیدها، نمک‌های یخ‌زدایی و سایر مواد خورنده دارد که دوام روسازی را در شرایط محیطی سخت و به ویژه در مناطق سردسیر و صنعتی افزایش می‌دهد. جذب آب پایین بتن گوگردی سبب نفوذناپذیری بالا و مقاومت بهتر در برابر چرخه‌های یخ‌زدگی و تخریب ناشی از آن می‌شود. اجرای بتن گوگردی نیازمند دقت و رعایت نکات خاصی است. دمای گوگرد مذاب باید به طور دقیق کنترل شود تا از تخریب گوگرد جلوگیری شود؛ دمای بیش از حد بالا سبب تخریب و دمای پایین منجر به اختلاط ناقص می‌شود. نسبت گوگرد به سنگدانه نیز باید دقیقاً تنظیم شود و معمولاً گوگرد حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد وزن کل مخلوط را تشکیل می‌دهد. به دلیل سرعت سرد شدن سریع، زمان کارکرد بتن محدود است و عملیات ریختن، تسطیح و پرداخت باید با سرعت و دقت بالا انجام شود تا ترک‌خوردگی ناشی از انقباض به حداقل برسد. همچنین تجهیزات و ماشین‌آلات مقاوم در برابر حرارت برای ذوب، اختلاط و حمل بتن گوگردی ضروری هستند. برخلاف بتن سیمانی، بتن گوگردی نیاز به عمل‌آوری با آب ندارد اما باید از یخ‌زدگی زود هنگام جلوگیری شود.

• مزایای بتن گوگردی

- زمان گیرش و سخت شدن بسیار سریع که موجب کاهش زمان تعطیلی مسیر و تسریع پروژه می‌شود.

- مقاومت سایشی و فرسایشی بالا، مناسب برای مسیرهای پرتردد و باندهای فرودگاه.
- مقاومت شیمیایی عالی در برابر اسیدها، نمک‌های یخ‌زدایی و مواد خورنده.
- جذب آب پایین و نفوذناپذیری بالا که مقاومت در برابر یخ‌زدگی و چرخه‌های ذوب و یخ را افزایش می‌دهد.
- عدم نیاز به عمل‌آوری با آب و سهولت در اجرای سریع.
- دوام بالا و مقاومت در برابر تغییرات شدید دمایی.

• معایب بتن گوگردی

- نیاز به تجهیزات خاص مقاوم در برابر حرارت برای ذوب و اختلاط گوگرد.
- هزینه بالاتر نسبت به بتن سیمانی معمولی به دلیل قیمت گوگرد و تجهیزات ویژه.
- زمان کارکرد محدود به دلیل سرد شدن سریع که نیازمند هماهنگی دقیق در اجرا است.
- محدودیت در تامین گوگرد مرغوب در برخی مناطق.
- احتمال ترک‌خوردگی ناشی از انقباض حرارتی اگر کنترل دما به درستی انجام نشود.
- عدم سازگاری کامل با برخی شرایط محیطی یا بارگذاری‌های خاص که نیازمند بررسی فنی است.

• روسازی بلوکی بتنی (Concrete block paving)

روسازی بلوکی بتنی یکی از روش‌های متداول و پرکاربرد در پوشش سطوح راه‌ها، پیاده‌روها، محوطه‌سازی‌های شهری و فضاهای پارکینگ است که در آن از بلوک‌های پیش‌ساخته بتنی با اشکال و ابعاد استاندارد استفاده می‌شود. این بلوک‌ها معمولاً روی یک بستر شن و ماسه یا بتن نازک قرار می‌گیرند و با توجه به طراحی و نوع کاربری، در الگوهای مختلف مانند شبکه‌ای، شطرنجی یا زیگزاگ چیده می‌شوند. مزیت اصلی این روش، انعطاف‌پذیری بالا در برابر نشست‌های موضعی و ترک‌خوردگی است؛ زیرا هر بلوک به صورت مستقل عمل می‌کند و در صورت آسیب، امکان تعویض سریع و آسان آن وجود دارد بدون نیاز به تخریب گسترده روسازی.

از دیگر ویژگی‌های مهم روسازی بلوکی بتنی، سرعت اجرای بالای آن است؛ به دلیل پیش‌ساخته بودن بلوک‌ها، زمان آماده‌سازی و نصب به طور قابل توجهی کمتر از روش‌های سنتی بتن ریزی است. این موضوع به ویژه در پروژه‌هایی که زمان اجرای محدود دارند، اهمیت فراوانی دارد. همچنین، بلوک‌های بتنی در اشکال و رنگ‌های متنوعی تولید می‌شوند که امکان ایجاد طرح‌های زیبایی‌شناسی و متناسب با محیط شهری را فراهم می‌کند. طراحی مناسب بین بلوک‌ها نیز به تخلیه موثر آب‌های سطحی کمک کرده و از تجمع آب و مشکلات ناشی از آن جلوگیری می‌کند. با این حال، روسازی بلوکی بتنی نیازمند نگهداری منظم است؛ به مرور زمان و تحت اثر بارگذاری ترافیکی، ممکن است برخی بلوک‌ها جابجا شده یا نشست کنند که نیاز به اصلاح و تنظیم مجدد دارند. همچنین تجمع گرد و خاک و مواد زائد در درزهای بین بلوک‌ها می‌تواند باعث کاهش نفوذپذیری و بروز مشکلات آبی شود. از سوی دیگر، در صورتی که بستر زیرین و مصالح لایه‌های آماده‌سازی به درستی تثبیت نشده باشند، احتمال حرکت بلوک‌ها و ایجاد ناهمواری در سطح وجود دارد. علاوه بر این، روسازی بلوکی بتنی برای تحمل بارهای بسیار سنگین و ترافیک فوق‌العاده زیاد مناسب نیست و در چنین شرایطی روش‌های روسازی صلب یا نیمه‌صلب توصیه می‌شوند. هزینه اولیه تولید و نصب بلوک‌های بتنی نسبت به آسفالت بیشتر است، اما دوام و امکان استفاده مجدد از بلوک‌ها می‌تواند این هزینه‌ها را در طول زمان جبران کند.

• مزایای روسازی بلوکی بتنی

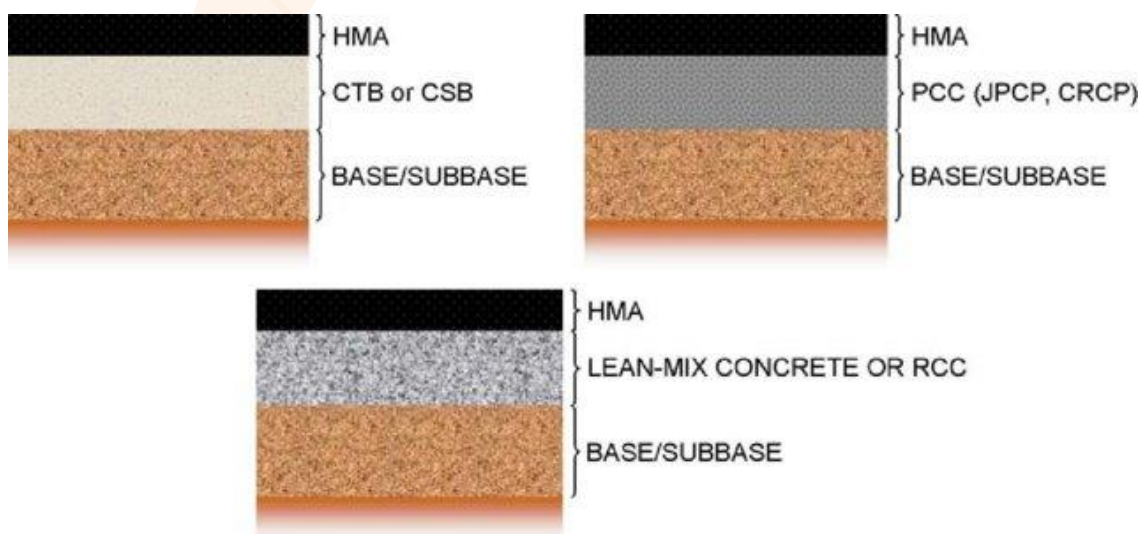
- انعطاف‌پذیری بالا و قابلیت تعمیر سریع و آسان بدون نیاز به تخریب گسترده.
- سرعت اجرای بالا به دلیل پیش‌ساخته بودن بلوک‌ها.
- تنوع و زیبایی ظاهری بالا با امکان طراحی الگوهای متنوع.
- تخلیه مناسب آب‌های سطحی و جلوگیری از تجمع آب.
- دوام مناسب در بارهای متوسط و امکان استفاده مجدد از بلوک‌ها.
- کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات در طول عمر روسازی.

• معایب روسازی بلوکی بتنی

- نیاز به نگهداری و تنظیمات منظم برای جلوگیری از حرکت و نشست بلوک‌ها.
- احتمال تجمع گرد و خاک در درزها که ممکن است نفوذ آب را کاهش دهد.
- حساسیت بالا به کیفیت و تثبیت بستر زیرین.
- محدودیت در تحمل بارهای بسیار سنگین و ترافیک‌های فوق‌العاده زیاد.
- هزینه اولیه نسبتاً بالاتر نسبت به آسفالت.
- نیاز به دقت و نظارت دقیق در اجرا برای جلوگیری از مشکلات عملکردی.

۱-۵-۳- روسازی مرکب

این روسازی ترکیبی از دو نوع روسازی آسفالتی و بتنی است. در شکل (۱-۴) دو نوع از روسازی مرکب نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- لایه‌های مختلف روسازی مرکب

با توجه به شکل (۴-۱) می‌توان گفت روسازی مرکب شامل یک لایه آسفالتی به عنوان رویه و لایه بتنی در زیر آن است و یا برعکس.

از ویژگی‌های روسازی مرکب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- افزایش ظرفیت باربری روسازی و مقاومت در برابر تغییر شکل؛
 - کاهش نفوذ آب به داخل روسازی؛
 - مناسب برای روسازی فرودگاه‌ها؛
 - کاهش تعمیر و نگهداری درزهای طولی و عرضی بتن نسبت به روسازی بتنی.
- مقایسه روسازی‌های صلب با روسازی‌های انعطاف‌پذیر در جدول (۱-۱) نشان داده شده است:

جدول ۱-۱- مقایسه روسازی انعطاف‌پذیر و صلب

انواع روسازی		بررسی تفاوت‌ها
صلب	انعطاف‌پذیر	
رویه بتن سیمانی	رویه بتن آسفالتی	مصالح رویه
به ترتیب از پایین به بالا: خاک بستر زیراساس و اساس (در صورت لزوم) رویه بتنی	به ترتیب از پایین به بالا: خاک بستر زیراساس اساس رویه آسفالتی	تعداد لایه
سختی (ضریب ارتجاعی) زیاد	سختی (ضریب ارتجاعی) کم	سختی لایه‌ها
تغییر شکل بسیار کم (ناچیر)	دارای تغییر شکل الاستیک	تغییر شکل
حدود ۴۰ تا ۵۰ سال	حدود ۲۰ سال	عمر طراحی
تئوری صفحه‌ای	تئوری لایه‌ای	نوع تحلیل مهندسی
توزیع بار در سطح کمتری نسبت به روسازی صلب		نحوه تئوری تنش

فصل دوم

لایه‌های غیرچسبنده روسازی

فاز دوم

۲-۱- مقدمه

در ساخت روسازی راه‌ها، لایه‌های مختلفی به کار می‌روند تا بتوانند بارهای ترافیکی را به نحو مؤثری به خاک بستر منتقل کرده و از تغییر شکل‌های دائمی یا خرابی‌های زود هنگام جلوگیری کنند. یکی از مهم‌ترین این لایه‌ها، لایه‌های غیرچسبنده هستند که شامل لایه‌های زیراساس، اساس غیرچسبنده و گاهی بستر اصلاح شده می‌شوند. لایه‌های غیرچسبنده از مصالح دانه‌ای مانند شن، ماسه و سنگ شکسته تشکیل شده‌اند و بدون استفاده از مواد چسبنده مانند قیر یا سیمان ساخته می‌شوند. با این حال، نقش مهمی در تأمین پایداری، زهکشی مناسب و توزیع بار در ساختار روسازی دارند. کیفیت اجرا و مشخصات مصالح مصرفی در این لایه‌ها تأثیر مستقیمی بر عملکرد بلندمدت روسازی دارد.

۲-۲- بستر روسازی

بستر روسازی راه سطح آخرین لایه متراکم شده خاکریزها، خاکبرداری‌ها و یا زمین طبیعی موجود و یا اصلاح شده است. این بستر طبق مشخصات آماده شده و و اولین قشر روسازی راه روی آن قرار می‌گیرد. بستر روسازی بر حسب آن که در خاکریزی یا خاکبرداری باشد، به شرح زیر است:

۲-۲-۱- خاکریزی

برای آماده‌سازی بستر روسازی راه در خاکریزی، دو قشر نهایی خاکریز با ضخامت ۳۰ سانتی‌متر از خاک‌های A-1 تا A-7 که در طبقه‌بندی آشتو قرار گرفته‌اند، انتخاب و در تمام عرض راه پخش می‌شود و پس از آب پاشی و شیب‌بندی کوبیده و آماده می‌شود. در محل‌هایی که خاک مناسب جهت مصرف در دو قشر نهایی خاکریز، برای آماده نمودن بستر روسازی راه در دسترس نبوده و یا حمل آن مقرون به صرفه نباشد، می‌توان از تثبیت خاک با آهک و یا مواد و ترکیبات شیمیایی دیگر استفاده کرد. خاک‌هایی که میزان مواد آلی در آن‌ها بیش از ۱۰ درصد، خاک‌های نمکی و گچی که میزان نمک و گچ محلول در آب به ترتیب بیش از ۵۰ و ۱۰ درصد وزنی، خاک‌های ماری و و رسی که دامنه خمیری آن‌ها بیش از ۵۰ درصد و نیز خاک‌هایی که حداکثر وزن مخصوص خشک آن کمتر از ۱/۵۵ تن در متر مکعب باشد، در شمار خاک‌های نامناسب قرار دارند که مصرف آن‌ها جایز نیست.

۲-۲-۲- خاکبرداری

کف خاکبرداری‌ها ممکن است در دو حالت برش‌های خاکی یا برش‌های سنگی باشد. اگر کف خاکبرداری، خاکی باشد، پس از انجام آزمایش باربری کالیفرنیا (CBR) و دانه‌بندی و، اگر خاک نامناسب باشد، باید ۳۰ سانتی‌متر برداشته شده و با خاک مناسب جایگزین شود. اگر بستر سنگی باشد، معمولاً دارای مقاومت کافی بوده، اما به دلیل ناهمواری و غیرقابل نفوذ بودن سنگ، بستر راه را با ۱۵ سانتی‌متر با مصالح مرغوب جایگزین نموده و آماده اجرای لایه بعدی می‌شود.

۲-۳- شناسایی و طبقه‌بندی خاک‌ها

تمام اجزاء تشکیل دهنده خاک دارای اندازه یکسانی نیستند و برحسب اندازه دانه‌ها این اجزا به نام‌های قلوه سنگ، شن، ماسه، لای و رس نام‌گذاری می‌شوند. اجزای درشت‌تر از 0.075 میلی‌متر (خاک مانده روی الک نمره ۲۰۰) که با چشم غیر مسلح قابل تشخیص است را درشت‌دانه و اجزای ریزتر از 0.075 میلی‌متر (خاک رد شده از الک نمره ۲۰۰) به ریزدانه‌ها موسوم بوده که شامل رس و لای هستند. اختلاف رس و لای به خواص خمیری مربوط می‌شود. طبقه‌بندی انواع خاک‌های مختلف به گروه‌هایی براساس کاربرد آن‌ها انجام می‌شود. طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس دانه‌بندی و خواص خمیری (حدود اتربرگ) انجام می‌شود. هدف از دانه‌بندی نیز تعیین درصد وزنی ذرات به اندازه‌های مختلف است که منجر به ترسیم منحنی دانه‌بندی خاک‌ها می‌شود. روش‌های دانه‌بندی خاک با استفاده از آزمایش الک برای خاک درشت‌دانه و آزمایش هیدرومتری برای خاک ریزدانه انجام می‌شود. جهت دانه‌بندی با روش الک، از دو روش تر و خشک استفاده می‌شود. در روش خشک، ذرات کلوخه‌ای شکل و به هم چسبیده خاک را خرد کرده و بر روی سری الک‌های استاندارد قرار می‌دهند. بعد از مدت ۱۰ دقیقه، مجموعه الک‌ها را با استفاده از لرزاننده (Shaker) و خاک مانده روی هر الک را تعیین می‌کنند. این روش برای خاک‌های درشت‌دانه موثر است. در روش تر که بر روی خاک‌های ریزدانه انجام می‌شود، ابتدا خاک عبوری از الک نمره ۲۰۰ را به روش هیدرومتری دانه‌بندی می‌کنند.

۲-۴- ترسیم منحنی دانه‌بندی

گام اول: تعیین وزن خاک مانده بر روی هر الک
گام دوم: تعیین درصد وزنی خاک مانده بر روی هر الک
گام سوم: با داشتن درصد وزنی مانده روی هر الک، درصد وزنی عبوری تعیین می‌شود.
گام چهارم: مقادیر درصد وزنی عبوری و اندازه دانه‌ها (سایز الک) بر روی یک نمودار نیمه لگاریتمی وارد کرده و از متصل کردن نقاط به دست آمده از مرحله بالا، منحنی دانه‌بندی خاک به دست می‌آید.

۲-۵- اندازه‌های موثر، ضریب یکنواختی و ضریب انحنا

(D_{10}): اندازه موثری است که ۱۰ درصد وزنی ذرات خاک از آن ریزتر است.

(D_{30}): اندازه‌ای است که ۳۰ درصد وزنی ذرات خاک از آن ریزتر است.

(D_{60}): اندازه‌ای است که ۶۰ درصد وزنی ذرات خاک از آن ریزتر است.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} : (C_u) \text{ ضریب یکنواختی}$$

نکته: هر چه C_u بزرگتر باشد، منحنی دانه‌بندی خاک دارای شیب کمتر و تنوع ذرات خاک بیشتر است.

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} : (C_c) \text{ ضریب دانه‌بندی}$$

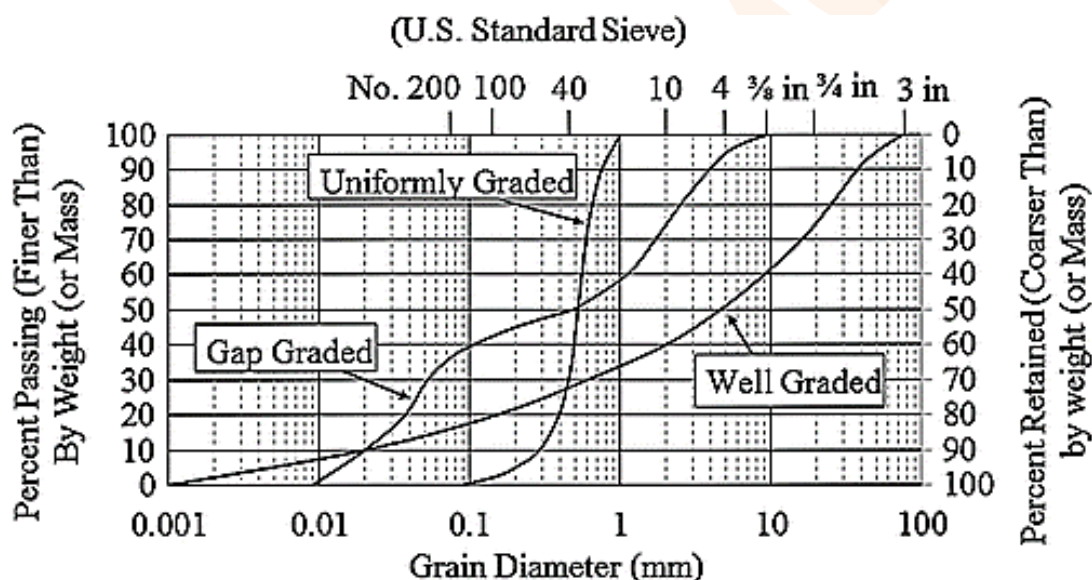
۶-۲- انواع دانه‌بندی خاک‌ها

خاک با دانه‌بندی یکنواخت (بد دانه‌بندی شده): در این نوع دانه‌بندی بیشتر ذرات خاک را دانه‌هایی با اندازه یکسان تشکیل می‌دهد و یا بیشتر خاک بر روی یک الک قرار می‌گیرد. الف) با دانه‌بندی یکنواخت و درشت‌دانه، ب) با دانه‌بندی یکنواخت و ریزدانه.

خاک میان تهی (دانه‌بندی منفصل یا بد دانه‌بندی شده): در خاک میان تهی ذرات با اندازه ریز و درشت داخل خاک موجود است ولی خاک فاقد ذرات با اندازه منفصل است. الف) خاک میان تهی، ب) خاک منفصل.

نکته: هر قسمت از منحنی دانه‌بندی که به صورت افقی باشد، بدین معناست که در آن قسمت خاک به آن اندازه وجود ندارد.

خاک با دانه‌بندی خوب: در این خاک ذرات با اندازه‌های مختلف به میزان تقریباً یکسان داخل خاک موجودند. نمودار انواع دانه‌بندی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.

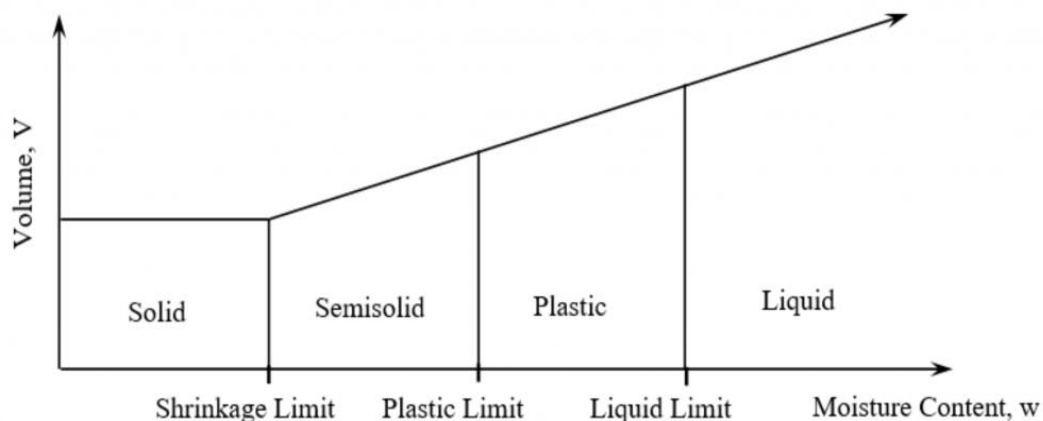


شکل ۱-۲- نمودار انواع دانه‌بندی

۷-۲- خواص خمیری خاک‌ها

اگر خاکی با مقدار کافی آب مخلوط شده و سپس به تدریج خشک شود، حالت مختلفی به خود می‌گیرد که شامل: الف) حالت روانی، ب) حالت خمیری، ج) حالت نیمه جامد و د) حالت جامد.

درصد رطوبتی که خاک از حالت روانی به خمیری می‌رسد، حد روانی و درصد رطوبتی که خاک از حالت خمیری به حالت نیمه جامد می‌رسد، به حد خمیری و درصد رطوبتی که خاک از حالت نیمه جامد به حالت جامد می‌رسد، به حد انقباض موسوم است. تفاضل بین حد روانی و حد خمیری خاک را دامنه یا نشانه خمیری گویند. به هر سه حالت حدروانی، خمیری و انقباض، حدود اتربرگ می‌گویند (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲- حدود اتبربرگ خاک

خاک‌ها را معمولاً برحسب میزان حد روانی به ۴ گروه تقسیم می‌کنند که عبارتند از: الف) خاک‌های با حدروانی کم، ب) خاک‌های با حد روانی متوسط، ج) خاک‌های با حد روانی زیاد و د) خاک‌های با حد روانی خیلی زیاد. این تقسیم‌بندی در جدول (۱-۲) نشان داده شده است. یکی از مهم‌ترین مشخصات خاک دامنه خمیری آن یعنی میزان رطوبتی است که خاک حالت خمیری دارد، است. خاک‌ها را معمولاً برحسب میزان دامنه خمیری، به ۴ گروه تقسیم می‌کنند، که عبارتند از: الف) خاک‌های غیرخمیری، ب) خاک‌های با درجه خمیری متوسط، ج) خاک‌های خمیری و د) خاک‌های با درجه خمیری خیلی زیاد. در جدول (۲-۲) تاثیر دامنه خاک بر روی مقاومت و قابلیت شکل‌پذیری آن نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- تقسیم‌بندی خاک‌ها براساس حد روانی آن‌ها

حد روانی	نوع خاک
< 30	خاک با حد روانی کم
$30-50$	خاک با حد روانی متوسط
$50-70$	خاک با حد روانی زیاد
> 70	خاک با حد روانی خیلی زیاد

جدول ۲-۲- تقسیم‌بندی خاک‌ها براساس دامنه خمیری آن‌ها

دامنه خمیری	درجه خمیری	مقاومت خاک در حالت خشک	بررسی خاک در درصد رطوبت حد خمیری
۵-۰	غیرخمیری	خیلی کم	نمونه خاک که دارای قابلیت شکل پذیری نیست.
۱۵-۵	خمیری متوسط	کم تا متوسط	نمونه خاک قابلیت شکل پذیری کمی دارد.
۳۵-۱۵	خمیری	خمیری	نمونه خاک قابلیت شکل پذیری دارد و با کشیدن ناخن و یا تیغه چاقو قابل صیقلی شدن است.
>۳۵	خیلی خمیری	خیلی خمیری	نمونه خاک سختی و چسبندگی زیاد دارد و رطوبت خود را خیلی به آهستگی از دست می‌دهد.

۲-۸- رده‌بندی خاک‌ها

رده‌بندی خاک‌ها معمولاً با استفاده از نتایج آزمایشات دانه‌بندی و حدود اتربرگ انجام می‌شود. روش‌های رده‌بندی خاک عبارتند از: الف) روش آشتو، ب) روش یونیفاید و ج) روش BCEOM. روش آشتو برای رده‌بندی خاک‌ها، یک از متداول‌ترین روش‌های رده‌بندی خاک است و صرفاً برای راهسازی به کار می‌رود. این روش براساس نتایج تجربی حاصل از تاثیر جنس خاک‌ها بر عملکرد روسازی استوار است. در روش آشتو خاک‌ها به هشت گروه اصلی تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی براساس ظرفیت باربری و سایر مشخصات خاک‌ها استوار است. هشت گروه اصلی به اسامی: A-1، A-2، A-3، A-4، A-5، A-6، A-7 و A-8 نام‌گذاری شده‌اند. در راهسازی خاک‌های A-1 مرغوب‌ترین خاک‌ها هستند. با افزایش شماره رده خاک از مرغوبیت خاک کاسته شود، به طوری که خاک‌های A-8 نامناسب‌ترین نوع خاک است و به هیچ وجه نباید در راهسازی استفاده شود. در جدول (۲-۳) جنس خاک‌ها برحسب رده آن‌ها آورده شده است.

جدول ۲-۳- جنس خاک‌ها طبق رده‌بندی آشتو

رده خاک	جنس خاک
A-1	قلوه سنگ و شن و ماسه
A-2	شن و ماسه لای‌دار یا رس‌دار
A-3	ماسه ریزدانه
A-4	خاک لای‌دار با حد روانی کم
A-5	خاک لای‌دار با حد روانی زیاد
A-6	رس با حد روانی کم
A-7	روش با حد روانی زیاد
A-8	خاک‌های آلی

برخی از گروه‌های اصلی خاک به ۲ یا چند زیر گروه تقسیم می‌شوند که به تفکیک در ادامه بیان شده است:

- خاک A-1 برحسب اینکه قسمت اعظم آن تکه سنگ و شن و یا ماسه درشت دانه باشد به دو زیر گروه A-1-a و A-1-b تقسیم می‌شوند.

- خاک A-2 برحسب اینکه ریزدانه‌اش لای یا رس باشد و ضمناً ریزدانه دارای حدروانی کم و یا حد روانی زیاد باشد به چهار زیر گروه A-2-4، A-2-5، A-2-6 و A-2-7 تقسیم می‌شوند. خاک‌های A-2 از خاک‌های A-1 نامرغوب‌تر هستند. اگر از خاک‌های A-1 برای رویه شنی راه‌های واقع در مناطق گرم و خشک استفاده شود، در اثر آمد و شد وسایل نقلیه گرد و خاک زیادی تولید می‌شود. استفاده از خاک‌های A-2 در مناطق مرطوب و بارانی موجب شل شدن و در نتیجه کاهش مقاومت روسازی می‌شود. خاک‌ها شن و ماسه لای‌دار (A-2-4 و A-2-5) بسیار مناسب برای استفاده در لایه‌های اساس و زیر اساس راه‌ها است و خاک‌های شن و ماسه رس‌دار (A-2-6 و A-2-7) در صورتی که میزان ریزدانه آن‌ها کمتر از ۱۵٪ باشد قابل استفاده در لایه اساس است. از خاک‌های A-2 معمولاً به صورت یک لایه محافظتی و تقویت‌کننده برای خاک‌های بستر خیلی خمیری استفاده می‌شود.

- خاک‌های A-3 که شامل ماسه‌های ریزدانه است، به شرطی که کاملاً محدود شده و نم دار باشد، مصالح بسیار مناسبی به عنوان بستر روسازی‌ها هستند. چون این نوع خاک‌ها به سهولت در اثر جریان آب شسته می‌شوند. خاک‌های A-1، A-2 و A-3 به خاک‌های درشت‌دانه موسوم هستند و این خاک‌ها حاوی کمتر از ۳۵٪ مواد ریزدانه هستند.

- خاک‌های لای‌دار A-4 و A-5 در صورتی که مرطوب نبوده و احتمال مرطوب شدن نداشته باشند، به عنوان خاک بستر روسازی‌ها قابل استفاده هستند. اما در مناطقی که امکان اشباع شدن دارد و یا احتمال یخبندان وجود دارد، باید از استفاده از این خاک‌ها اجتناب شود. خاک‌های لای‌دار در اثر رطوبت زیاد به میزان قابل توجهی از مقاومت خود را از دست می‌دهند و چون خاصیت موئینگی دارند، از این جهت در مناطقی که آب زیرزمینی در عمق کمی از سطح زمین قرار داشته باشد و احتمال یخبندان نیز وجود داشته باشد، امکان تورم وجود داشته و باعث خرابی روسازی می‌شوند. خاک‌های لای‌دار معمولاً به راحتی قابل تراکم نبوده و برای کوبیدن آن‌ها باید دقت زیادی در انتخاب نوع و وزن غلتک و همچنین تعیین میزان رطوبت خاک در موقع کوبیدن آن شود. تفاوت عمده بین خاک‌های A-4 و A-5 میزان قابلیت ارتجاعی آن‌ها است. خاک‌های A-5 به علت داشتن خاصیت طلقی دارای قابلیت ارتجاعی بیشتر نسبت به خاک‌های A-4 بوده و از این جهت از خاک‌های A-4 نامرغوب‌تر است.

- خاک‌های رسی A-6 و A-7 نامرغوب‌ترین خاک‌ها برای مصارف راهسازی هستند. این نوع خاک‌ها در حالت خشک دارای مقاومت نسبتاً زیادی است، اما به تنهایی جذب آب مقاومت خود را به شدت از دست می‌دهند. از این جهت نباید در مناطق مرطوب و بارانی از این نوع خاک‌ها استفاده شود. خاک‌های رسی به علت میل شدید به جذب آب و نگهداشتن آب جذب شده، مشکلات فراوانی را در راهسازی به وجود می‌آورد. خاک A-7 دارای حد روانی و قابلیت ارتجاعی بیشتری نسبت به خاک A-6 بوده و از این نظر از خاک A-6 نامرغوب‌تر است. خاک‌های A-7 بر حسب میزان حد خمیری به دو زیر گروه A-7-5 و A-7-6 تقسیم می‌شوند. خاک‌های رسی در صورتی که میزان رطوبت آن‌ها به دقت کنترل شود، تراکم پذیر هستند.

- خاک‌های آلی A-8 که با استفاده از رنگ و بویشان قابل تشخیص هستند، برای خاک بستر روسازی‌ها، به هیچ وجه مناسب نیستند و نباید تحت هیچ شرایطی مورد استفاده قرار گیرند. توضیحات فوق به صورت خلاصه در جدول (۲-۴) نشان داده شده است.

۹-۲- روش‌های تعیین مقاومت خاک بستر روسازی

آزمایشات مختلفی جهت تعیین مقاومت خاک بستر روسازی وجود دارد که عبارتند از:

- آزمایش فشاری سه محوری،
 - آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)
 - آزمایش بارگذاری صفحه.
- در ایران روش CBR جهت طراحی روسازی به کار برده می‌شود؛ بنابراین در این بخش فقط به این روش پرداخته می‌شود.

۱۰-۲- آزمایش باربری کالیفرنیا (CBR)

آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) یا آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا در سال ۱۹۲۹ میلادی در اداره راهسازی ایالت کالیفرنیا آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. به کمک آزمایش CBR، مقاومت برشی خاک در یک رطوبت و وزن مخصوص معین، مشخص می‌شود. عدد آزمایش CBR (نسبت باربری کالیفرنیا) بنا به تعریف، بار استفاده شده برای فرو رفتن و نفوذ یک سنبه استاندارد به میزان معین در یک نمونه مورد آزمایش، به مقدار بار استاندارد برای همان نفوذ است.

۹-۲-۱- کاربرد آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا نیز یکی از آزمایشاتی است که بواسطه آن می‌توان برای خاک یک قرضه یا خاک محل موردنظر، حداکثر فشار قابل اعمال را محاسبه کرد. در راهسازی، عدد CBR در انعکاس مقاومت برشی خاک و تحمل آن در برابر بارهای ترافیکی از اهمیت بسزایی برخوردار است. به عبارت دیگر ارزش تست CBR در راهسازی بسیار زیاد است و CBR خاک یکی از مهمترین عوامل در طرح ضخامت رویه راه‌ها است. به طوری که با تعیین عدد CBR می‌توان ظرفیت باربری خاک بستر و کلیه لایه‌های روسازی، از قبیل زیر اساس و اساس را تعیین نموده و بر طبق آن ضخامت لایه‌ها را بدست آورد.

جدول ۲-۴- روش آشتو جهت رده‌بندی خاک‌ها

خاک درشت‌دانه (شن و ماسه) کمتر از ۳۵٪ از الک #۲۰۰ رد می شود.					خاک ریزدانه (لای و رس) بیش از ۳۵٪ از الک #۲۰۰ رد می‌شود.							
A-7		A-6	A-5	A-4	A-2				A-3	A-1		گروه
A-7-6	A-7-5				A-2-7	A-2-6	A-2-5	A-2-4		A-1-b	A-1-a	زیر گروه
≥۳۶	≥۳۶	≥۳۶	≥۳۶	≥۳۶	≤۳۵	≤۳۵	≤۳۵	≤۳۵	≤۳۵	≤۵۰ ≤۳۰ ≤۲۵	≤۵۰ ≤۳۰ ≤۱۵	درصد ریزتر از: الک #۱۰ الک #۴۰ الک #۲۰۰
≥۳۰ ≥۴۱ ≥۱۱	<۳۰ ≥۴۱ ≥۱۱	≤۴۰ ≥۱۱	≥۴۰ ≤۱۰	≤۴۰ ≤۱۰	≥۴۱ ≥۱۱	≤۴۰ ≥۱۱	≥۴۰ ≤۱۰	≤۴۰ ≤۱۰	غیر خمیری	≤۶	≤۶	حد خمیری حد روانی دامنه خمیری
≤۲۰	≤۲۰	≤۱۶	≤۱۲	≤۸	≤۴	≤۴	.	.	.	.	.	نشانه گروه
خاک رس‌دار		خاک لای‌دار			شن و ماسه رس‌دار		شن و ماسه لای‌دار		ماسه ریز	تکه سنگ، شن و ماسه		جنس خاک
بد		متوسط			خوب					عالی		ارزش خاک به عنوان خاک بستر روسازی

۲-۹-۲ - تجهیزات آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

- دستگاه CBR
- نمونه خاک
- آب
- گرمخانه (آون)
- جک هیدرولیکی جهت بیرون آوردن نمونه
- عقربه کرنش و نیروسنج
- کاغذ صافی
- ترازو
- قالب تراکم
- چکش تراکم
- وزنه‌های سرباره

آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا معمولاً بر روی نمونه‌هایی که با درصد رطوبت بهینه متراکم شده باشند، انجام می‌شود.

۲-۹-۳ - روش انجام آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

آزمایش CBR برحسب نمونه مورد بررسی به دو روش انجام می‌شود. به طوری که در یک روش قالب شامل خاک متراکم شده بلافاصله تحت آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا قرار گیرد؛ اما در روش دیگر نمونه متراکم شده ۹۶ ساعت در آب مستغرق می‌گردد، سپس آزمایش خاک CBR بر روی نمونه اشباع شده انجام می‌شود. اگر کلیه ذرات خاک دارای قطری کوچکتر از ۱۹ میلی‌متر باشند، در این حالت مقدار ۵/۵ کیلوگرم نمونه خشک لازم است. اما در حالت کلی برای شروع آزمایش CBR مقدار ۵ کیلوگرم خاک با حدود ۶۰۰ سی سی آب کاملاً مخلوط می‌گردد. لازم به ذکر است نمونه مخلوط خاک باید درون قالب استوانه‌ای متراکم شود. لذا با استفاده از یکی از روش‌های تراکم استاندارد و یا اصلاح شده، نمونه خاک متراکم می‌گردد. سپس قالب خاک مرطوب متراکم شده، زیر دستگاه آزمایش CBR قرار گرفته و سرباری به وزن بیش از ۴/۵ کیلوگرم بر روی آن قرار می‌گیرد. قالب محتوی نمونه با چرخاندن دسته، بالا آورده شده تا با پیستون متصل به رینگ، در تماس قرار گیرد. دستگاه آزمایش CBR با سرعت یکنواخت و استاندارد، سمبه‌ای را وارد خاک متراکم شده می‌کند. سپس توسط دو گیج موجود در دستگاه CBR، مقدار فرورفتگی و مقدار نیروی لازم خوانده شده و با انجام محاسبات، عدد CBR را برای نمونه خاک مطابق رابطه‌ی زیر برای نفوذ ۰/۱ و ۰/۲ اینچ بدست می‌آید.

$$CBR_{0.1} = \frac{(F_{0.1} * K)}{3}$$

در این رابطه:

K: ضریب نیروسنج برای محاسبه مقدار نیرو برابر $5/82$ می‌باشد.

۲-۹-۴- عوامل موثر بر آزمایش CBR

عوامل مختلفی بر روی آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) موثر می‌باشند که از جمله این عوامل می‌توان به جنس خاک، تراکم خاک، رطوبت خاک، وزن مخصوص خاک و ... است.

- اثر جنس خاک بر آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا: مقدار نسبت باربری کالیفرنیا در خاک‌های درشت‌دانه از خاک‌های ریزدانه بیشتر است.
- اثر تراکم خاک بر آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا: خاک‌های متراکم تر مقدار CBR بیشتری دارند.
- اثر رطوبت خاک بر آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا: افزایش رطوبت باعث کاهش مقدار CBR در خاک‌ها می‌شود. این تاثیر کاهشی، در خاک‌های ریزدانه بیشتر است.
- اثر وزن مخصوص خاک بر آزمایش ظرفیت باربری کالیفرنیا: با افزایش وزن مخصوص در خاک‌ها، میزان CBR افزایش پیدا می‌کند.

۲-۹-۵- بهره‌گیری از نتایج آزمایش CBR

از نتایج آزمایش CBR معمولاً برای ارزیابی خاک بستر روسازی و در برخی موارد برای ارزیابی مصالحی که در لایه‌های مختلف روسازی به کار می‌روند، استفاده می‌شود. هر اندازه CBR خاکی بیشتر باشد کیفیت آن خاک بهتر است. در اغلب روش‌های متداول طرح روسازی‌ها چه به صورت مستقیم و یا به صورت غیرمستقیم از نتایج آزمایش CBR استفاده می‌شود. در جدول (۲-۵) موارد استفاده خاک‌های با CBR مختلف به عنوان خاک بستر و لایه‌های روسازی نشان داده شده است.

جدول ۲-۵- موارد استفاده از خاک‌ها با CBR های مختلف

مورد استفاده	کیفیت خاک	CBR
خاک بستر روسازی	خیلی بد	۳-۰
خاک بستر روسازی	بد	۷-۳
لایه زیراساس	متوسط	۲۰-۷
لایه زیراساس و اساس	خوب	۵۰-۲۰
لایه اساس	عالی	>۵۰

۲-۱۱- وسایل متراکم سازی خاک در راهسازی

همانگونه که در قبل به آن اشاره شد، از وسایل عمده تراکم خاک، غلطک‌ها هستند و در انواع چرخ فولادی، چرخ لاستیکی، پاچه‌بزی و لرزنده وجود دارند. کوبنده‌های صفحه‌ای، کفشک‌های لرزنده و تخماتی‌های دستی نیز جزو وسایل متراکم کننده محسوب می‌شوند.

غلطک‌های لرزنده در انواع چرخ فولادی، چرخ لاستیکی و پاچه‌بزی هستند. از این غلطک‌ها جهت متراکم ساختن قشرهای شن و ماسه‌ای استفاده می‌شود. نیروی ارتعاش توسط دوران یک یا دو وزنه هم محور ایجاد می‌شود که با تغییر سرعت دوران محور می‌توان تعداد ارتعاش را در واحد زمان کنترل کرد. غلطک‌های لرزنده می‌توانند در هر ضربه نیرویی برابر هزار کیلوگرم را بر خاک وارد کنند. غلطک‌های ویبره، سرعتی بین ۳ تا ۸ کیلومتر در ساعت دارند که هر چه مقدار سرعت کمتر باشد، شدت نفوذ ارتعاش در خاک بهتر است.

۲-۱۰-۱- غلطک‌های چرخ فولادی

این نوع غلطک‌ها در انواع سه چرخ معمولی و دو چرخ و سه چرخ تاندم هستند. وزنشان بین ۳ تا ۱۸ تن است و قادرند ۱۰ تا ۹۰ کیلوگرم بر هر سانتی‌متر مربع نیرو وارد کنند. وزن غلطک‌های چرخ فلزی سبک، متوسط و غلطک‌های چرخ فلزی سنگین به ترتیب برابر ۳ تا ۷، ۷ تا ۱۰ و ۱۰ تا ۱۸ تن است. برای این که وزن آن‌ها افزایش یابد باید چرخ‌های آن‌ها را از آب و یا ماسه پر کرد. غلطک‌های سبک و متوسط برای اطو نمودن آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرند. از غلطک‌های سنگین وزن برای متراکم کردن لایه‌های دانه‌ای استفاده می‌شود که با ۸ بار رفت و برگشت، لایه‌ای به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر را متراکم می‌کنند.

۲-۱۰-۲- غلطک‌های چرخ لاستیکی

غلطک‌های چرخ لاستیکی در دو نوع سبک و سنگین هستند. وزن غلطک‌های چرخ لاستیکی سبک ۳ تا ۱۰ تن است و دارای دو ردیف چرخ‌اند و برای متراکم ساختن آسفالت و خاک‌های رسی و لای مورد استفاده قرار می‌گیرند. غلطک‌های چرخ لاستیکی سنگین که در اکثر موارد به صورت یدک با تراکتور یا غیره کشیده می‌شوند، دارای ۴۵ تن وزن هستند و با قرار دادن سربار بر روی آن‌ها، وزنشان به ۱۸۰ تن میرسد. این نوع غلطک‌ها مناسب برای متراکم ساختن بستر فرودگاه و سدهای خاکی هستند.

۲-۱۰-۳- غلطک‌های پاچه‌بزی

غلطک‌های پاچه‌بزی به عنوان مناسب‌ترین غلطک برای متراکم ساختن خاک‌های ریزدانه حاوی رس و لای محسوب می‌شوند. وزن این غلطک‌ها بین ۳ تا ۱۸ تن است و فشاری بین ۷ تا ۵۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بر زمین وارد می‌کنند. این غلطک‌ها قادرند ضخامت‌های ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری را متراکم کنند. در اغلب موارد این نوع غلطک‌ها را با یدک می‌کشند و سرعت حرکتشان بین ۸ تا ۱۶ کیلومتر در ساعت است. در موقع متراکم ساختن، خارها به درون خاک فرو

می‌روند و از پایین به بالا خاک را متراکم می‌کنند و موقعی که خارها دیگر در خاک فرو نروند، علامت آن است که لایه خاک دارای تراکم مناسب است.

نوع دیگری از غلطک‌های پاچه‌بزی، دارای خارهای پهن هستند و به آنها غلطک پاچه‌فیلی می‌گویند که برای متراکم ساختن و تثبیت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. غلطک‌های مشبک نیز جزو غلطک‌های پاچه‌بزی محسوب می‌شوند که به جای خار، یک شبکه فلزی دارند که از میله‌های فلزی با قطر ۳ تا ۴ سانتی‌متر ساخته شده‌اند. میله‌های نام‌برده، سنگ‌ها را به درون زمین فرو می‌برند و توده‌ای توپر و یکپارچه به وجود می‌آورند.

۲-۱۰-۴- تخمق‌های دستی

این نوع تخمق‌ها برای متراکم کردن خاک، به آن ضربه می‌زنند. انرژی مورد نیاز توسط یک موتور بنزینی تأمین می‌گردد. صفحات و کفشک‌های لرزنده با عرض ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر در انواع موتوری و برقی موجوداند و قادراند در محل‌هایی که امکان استفاده از غلطک بزرگ وجود ندارد، خاک را به خوبی متراکم کنند.

۲-۱۲-۲- زیراساس و اساس

تعداد لایه‌های روسازی، جنس و ضخامت آن‌ها به عوامل زیر بستگی دارد:

- مقاومت خاک بستر روسازی
- نوع، وزن و تعداد وسایل نقلیه
- شرایط جوی منطقه
- نوع مصالح موجود در منطقه

هرچه مقاومت خاک بستر روسازی کمتر بوده و یا وزن و تعداد وسایل نقلیه عبور کننده از راه بیشتر باشد، باید از تعداد و ضخامت لایه‌های روسازی بیشتر استفاده کرده و جنس مرغوب‌تر داشته باشد. روسازی راه‌ها را معمولاً سه لایه زیراساس، اساس و رویه تشکیل می‌دهند که هر یک از لایه‌های یاد شده دارای انواع مختلفی هستند.

۲-۱۱-۱- زیراساس

زیراساس معمولاً اولین قشر است که روی بستر آماده شده روسازی قرار می‌گیرد. فشارهای وارده از قشرهای بالای روسازی به وسیله این قشر تعدیل و به بستر رسازی راه منتقل می‌شود. به طوری که تنش‌های ایجاد شده سبب نشست و یا تغییرشکل غیر مجاز بستر نشود. با تغییر ضخامت زیراساس می‌توان فشار وارده بر سطح بستر روسازی راه را تنظیم کرد.

قشر زیراساس تثبیت نشده باید بتواند آب‌های سطحی و یا آب‌های نفوذی شانه راه و یا آب‌های تراوشی را به نهرهای خارج جسم راه هدایت کند.

نکته: استفاده از مصالح زیراساس موجب تقلیل ضخامت روسازی و صرفه‌جویی در لایه‌های اساس و لایه‌های آسفالتی که مرغوب‌تر و گرانتر هستند، می‌شود.

با افزایش ضخامت زیراساس، که مصالح آن در برابر یخبندان حساسیت نداشته باشد، می‌توان عمق لایه مقاوم در مقابل یخبندان را افزایش داد.

۲-۱۱-۲- انواع زیراساس

- زیراساس با شن و ماسه رودخانه‌ای: زیراساس معمولاً از شن و ماسه بستر رودخانه‌ها، مسیل‌های قدیمی، تپه‌های شن و ماسه‌ای یا واریزه‌ها و سایر معادن به دست می‌آید. چنانچه این مصالح دانه‌های درشت‌تر از حد مشخصات داشته باشد، بایستی آن‌ها را به وسیله سرندهای مکانیکی سرند نموده و دانه‌بندی مناسب برای مصرف قشر زیراساس را تأمین کرد.

- زیراساس کوهی: سنگ‌های استخراج شده از معادن سنگ و یا قلوه سنگ‌های درشت طبیعی می‌تواند در سنگ شکن شکسته و سپس سرند شده و در صورت لزوم پس از اختلاط با سایر مصالح، در قشر زیراساس بکار رود.

- زیراساس تثبیت شده: در محل‌هایی که مخلوط شن و ماسه رودخانه‌ای و یا سنگ شکسته کوهی طبق مشخصات در دسترس نباشد، می‌توان با اضافه کردن مواد تثبیت کننده مانند سیمان، آهک و یا قیر، مصالح موجود را پایدار کرد. در زمین‌هایی که آلوده به مواد مضر هستند که روی سیمان اثر مخرب می‌گذارند و یا در محل‌هایی که احتمال رشد و رویدن گیاهان وجود دارد، از زیراساس آهکی، می‌توان استفاده کرد. زیراساس آهکی در پایدار نمودن پی راه‌ها، بزرگراه‌ها، خیابان‌ها، پارکینگ‌ها و غیره کاربرد دارد.

چند نکته:

- زیراساس آهکی در مناطق گرم، بهتر از مناطق سرد نتیجه می‌دهد.
- آهک با خاک ریزدانه زودتر عکس العمل نشان می‌دهد. زیرا در این موارد آب-آهک، سطح بیشتری از دانه‌های خاک را اندود کرده و واکنش شیمیایی میان آهک و خاک سریع‌تر انجام می‌گیرد.
- مقدار آب لازم برای زیراساس آهکی بستگی به دانه‌بندی خاک، گرما و خشکی هوا دارد، ولی هر اندازه آب کمتر مصرف شود بهتر است.
- هر چه مصالح و آهک بیشتر ورز داده شود و بهتر متراکم گردد، مقاومت فشاری آن زیادتر خواهد شد.
- هر قدر درجه خلوص آهک بیشتر باشد، مقاومت مخلوط زیادتر می‌شود.
- با افزودن آهک به خاک رس، دامنه خمیری آن چندین برابر کم می‌شود، زیرا حد خمیری آن اضافه و حد روانی آن کاهش می‌یابد.
- در گرما و محیط مرطوب، مقاومت مخلوط افزایش می‌یابد، لذا برای شرایط با آب و هوای گرم و مرطوب مناسب‌تر است.
- استفاده از آهک شکفته به علت کم خطر بودن، مناسب‌تر از آهک زنده است.

۲-۱۱-۳- کوبیدن قشر زیراساس

کوبیدن قشر زیراساس از طرفین محور راه با استفاده از غلتک‌های چرخ فولادی استاتیک، یا غلطک‌های چرخ لاستیکی، به وزن حدود ۱۲ تن شروع می‌شود. ضمن آن که جهت تسهیل کوبیدگی می‌توان از غلتک‌های لرزشی (ویبره) یا غلتک‌های کششی-لرزشی نیز استفاده کرد. وزن غلتک باید طوری باشد که سنگدانه‌ها زیر چرخ غلتک شکسته نشود. عملیات غلتک‌زنی و کوبیدن قشر زیراساس در قوس‌هایی که دارای شیب یک طرفه (بربلندی) می‌باشد، از داخل قوس شروع شده و به طرف خارج قوس ادامه می‌یابد. قبل از اتمام کوبیدگی، سطح زیراساس مجدداً ترازبایی شده و ارقام نقاط با ارقام نظیر در نقشه‌های نیمرخ طولی و نیمرخ‌های عرضی مطابقت داده می‌شود. چنانچه اختلاف نهایی حداکثر ± 20 میلی‌متر باشد، کوبیدگی ادامه می‌یابد، در غیر اینصورت مصالح اضافی تراشیده شده و در نقاطی که مصالح کم باشد، مقدار لازم به آن اضافه و سپس مخلوط شده و کوبیدگی تا حصول نتیجه ادامه می‌یابد.

لایه‌های زیراساس، اساس و رویه‌های شنی از سنگدانه‌های بدون مواد چسبنده تشکیل می‌شوند. سنگدانه‌های شکسته شده نسبت به سنگدانه‌های شکسته نشده، مقاومت و قدرت باربری بیشتری دارند. سنگدانه‌های به کار برده شده برای لایه‌های زیراساس، اساس و رویه شنی باید دارای مشخصات دانه‌بندی، سختی، دوام، خواص خمیری، تمیزی، شکل و اندازه نفوذپذیری باشند.

۲-۱۱-۴- اساس

دومین قشر از روسازی راه، اساس است که با مشخصات و ضخامت معین روی قشر زیراساس و در تمام عرض آن اجرا می‌شود. عملکرد قشر اساس به این صورت است که بازهای وارده از قشر (های) بالاتر روسازی به وسیله این لایه تعدیل و به قشر زیراساس وارد می‌شود، به طوری که تنش مجاز وارده سبب نشست و یا تغییر شکل غیر مجاز در آن نشود. قشر اساس دارای خاصیت تراوایی بیشتری نسبت به قشر زیراساس است.

۲-۱۱-۵- انواع اساس

- اساس شن و ماسه‌ای شکسته: شن و ماسه حاصل از رودخانه‌ها را می‌توان بعد از شکستن و تامین دانه‌بندی و مشخصات لازم در قشر اساس بکار برد.
- اساس سنگ کوهی شکسته و قلوه سنگ شکسته: سنگ‌های استخراج شده از معادن سنگ و یا قلوه سنگ‌های درشت رودخانه‌ای در سنگ شکن‌ها، شکسته و سپس سرند می‌شود و براساس مشخصات تعیین شده در قشر اساس به کار می‌رود.
- اساس ماکادامی: اساس ماکادامی از سنگ کوهی و یا سنگ‌های رودخانه‌ای شکسته تشکیل می‌شود. این مصالح براساس مشخصات، پخش و سپس مصالح ریزدانه بر روی آن پخش شده و به روش خشک و یا مرطوب کوبیده می‌شود.
- اساس قیری: این قشر به عنوان اولین قشر روسازی بتن آسفالتی می‌تواند مستقیماً روی قشر زیراساس و یا اساس قرار گیرد. اساس قیری دارای دانه‌بندی درشت‌تر و مقدار قیر آن کمتر از آسفالت آستر و رویه می‌باشد. حداکثر

اندازه سنگدانه‌های آن تا ۵۰ میلی‌متر و در مواردی نیز تا ۷۵ میلی‌متر می‌رسد. از اساس قیری با دانه‌بندی باز به عنوان یک لایه زهکش به منظور تسریع در تخلیه آب‌های نفوذی به سیستم روسازی و یا جلوگیری از بازگشت ترک‌های آسفالت موجود در بهسازی‌ها با حداکثر اندازه سنگدانه‌های ۳۷/۵ تا ۵۰ میلی‌متر، متشکل از مصالح صددرصد شکسته، به عنوان لایه کنترل کننده ترک انعکاسی استفاده می‌کنند.

۲-۱۳- دانه بندی

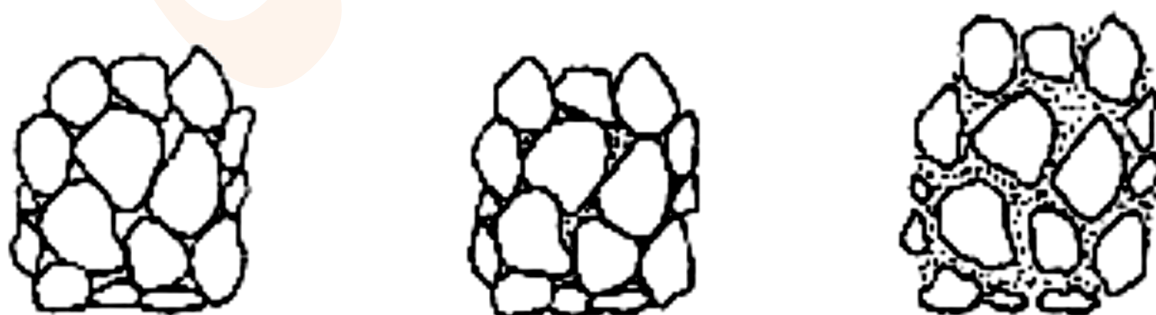
برای دانه‌بندی مصالح شنی معمولاً از الک‌های ۷۵، ۶۲/۵، ۳۷/۵، ۲۵، ۱۹ و ۹/۵ میلی‌متر و الک‌های با سوراخ‌های مربع شکل با شماره‌های ۴، ۱۰، ۴۰ و ۲۰۰ استفاده می‌شود. شماره یک الک نشان دهنده این است که در هر ۲/۴۵ سانتی‌متر دارای چه تعداد سوراخ است.

۲-۱۴- مقدار ریزدانه

شکل (۲-۳) حالت‌های متمایز مصالح شنی از نظر میزان ریزدانه آن‌ها را نشان می‌دهد. حالت (۱) حالتی را نشان می‌دهد که مصالح شنی، ریزدانه ندارند و یا مقدار آن بسیار کم است. این نوع مصالح معمولاً، وزن مخصوص کم و نفوذپذیری زیاد دارند و عاری از خطر تورم در اثر یخبندان است.

حالت (۲) حالتی را نشان می‌دهد که مواد ریزدانه به مقدار مناسب برای پر کردن فضای خالی سنگدانه‌های درشت وجود دارد. این گونه مصالح دارای وزن مخصوص فضایی زیاد و نفوذپذیری کم هستند و امکان تورم مصالح در اثر یخبندان وجود دارد. متراکم کردن این نوع مصالح شنی نسبتاً دشوار است.

حالت (۳) حالتی را نشان می‌دهد که مقدار ریزدانه مصالح نسبت به فضای سنگدانه‌ای درشت‌تر، بیشتر است. در این حالت مقاومت مصالح به مقاومت قسمت ریزدانه آن بستگی دارد. این نوع مصالح را به آسانی می‌توان کوبید و متراکم کرد و به راحتی جابجا نمود. مقاومت این نوع مصالح شدیداً با تغییر میزان رطوبت خاک تغییر کرده و با افزایش رطوبت، مقاومت مصالح کاهش می‌یابد.



شکل ۲-۳- حالت‌های متمایز مصالح شنی از نظر میزان ریزدانه

۲-۱۵- شکستگی

مصالح سنگی شکسته شده، نسبت به مصالح رودخانه‌ای دارای استقامت و قدرت باربری بیشتر هستند؛ زیرا سنگدانه‌های شکسته شده، گوشه‌های تیز و سطحی ناصاف دارند و بهتر در یکدیگر قفل و بست شده و نسبت به مصالح با دانه‌های گرد گوشه، زاویه اصطکاک داخلی بیشتر دارند. هر چه سنگدانه‌های رودخانه‌ای بیشتر شکسته شوند، مقاومت و قدرت باربری بیشتری خواهند داشت.

۲-۱۶- خصوصیات خمیری

برای بدست آوردن خصوصیات خمیری بخش ریزدانه مصالح سنگی از آزمایش حدود اتربرگ استفاده می‌شود. هرچه مصالح خمیری‌تر باشد، دارای حد روانی و دامنه خمیری بیشتری می‌باشد و مقاومت برشی کمتری دارد. از این رو مصالح به کار رفته در لایه‌های زیراساس و اساس و رویه شنی نباید بیش از حد مجاز خمیری باشد.

۲-۱۷- سختی

مصالح شنی لایه‌های زیراساس، اساس و رویه باید قادر به تحمل وزن وسایل نقلیه بوده و خرد نشوند. برای بدست آوردن سختی سنگدانه‌ها از آزمایش سایش لوس آنجلس استفاده می‌شود. برای انجام این آزمایش، مقدار معینی از سنگدانه‌ها را به همراه تعداد ۱۱ گلوله فلزی به قطر و وزن مشخص در داخل استوانه فلزی می‌ریزند و با سرعت ۳۰ تا ۳۳ دور در دقیقه، حول محور استوانه ۵۰۰ مرتبه می‌چرخد. قطر داخلی و طول این استوانه فلزی به ترتیب برابر ۷۰ و ۵۰ سانتی‌متر است. هر اندازه سنگدانه‌ها، سخت‌تر باشند، کمتر خرد و ساییده می‌شوند.

پس از انجام آزمایش، مصالح خرد شده با استفاده از الک شماره ۱۲ از بقیه مصالح جدا می‌گردد. چنانچه وزن بخش عبور کرده از الک شماره ۱۲ بر کل وزن نمونه مصالح تقسیم گردد، درصد ساییدگی مصالح به دست می‌آید. آیین‌نامه‌های سازمان برنامه و بودجه و آشتو، حداکثر میزان ساییدگی مصالح لایه‌های زیر اساس و اساس و رویه شنی را به ۵۰ درصد محدود می‌کنند.

۲-۱۸- تمیزی

مصالح سنگی مصرفی برای لایه‌های زیراساس، اساس و رویه شنی باید تمیز و فاقد هرگونه مواد زاید باشد. برای مشخص کردن تمیزی مصالح سنگی باید از آزمایش هم ارز ماسه (ارزش ماسه‌ای) استفاده نمود. با انجام آزمایش یاد شده مقدار نسبی خاک رس و مواد ریزدانه مصالح مشخص می‌گردد.

نحوه انجام این آزمایش به این صورت است که مقدار معینی از مصالح سنگی عبور کرده از الک شماره ۴ را در آبی که مقدار معینی کلرودیدیم، گلیسیرین و فورمالداید دارد، قرار داده، سپس استوانه مدرج حاوی نمونه را تکان می‌دهند که در این صورت مواد رسی و ریزدانه از دانه‌های ماسه جدا می‌گردد. سپس با استفاده از جریان آب تحت فشاری که تسریع کننده نام برده را دارد و توسط یک لوله مخصوص از ته نمونه جریان می‌یابد، مواد رسی و ریزدانه از ماسه جدا می‌گردد.

و به صورت معلق در بالای لایه ماسه جمع می شود. پس از خواندن ارتفاع ستون مواد رسی و ریزدانه معلق در آب (H_c) و ارتفاع ستون ماسه ته نشین شده (H_s) می توان مقدار هم ارز ماسه مصالح سنگی را با استفاده از رابطه زیر بدست آورد.

$$S_E = \frac{H_s}{H_c} \times 100$$

هر اندازه مصالح سنگی تمیزتر باشند و دارای مواد رسی و ریزدانه کمتر باشند، مقدار هم ارز ماسه مصالح بیشتر است.

۲-۱۹- نفوذپذیری

لایه رویه روسازی ها باید تا حد امکان در برابر آب های سطحی ناشی از بارندگی غیرقابل نفوذ بوده و دارای شیب عرضی مناسب باشد تا از نفوذ کردن آب های سطحی در سیستم روسازی جلوگیری شود. نفوذ نمودن آب در سیستم روسازی موجب می گردد که از مقاومت مصالح کاسته شود و قدرت باربری روسازی نیز کاهش یابد. در صورت استفاده کردن از لایه زهکش و زیاد بودن شیب طولی راه، باید در نقاط گود پروفیل طولی راه، کانال های عرضی زهکشی به کار برده شوند تا آب نفوذ یافته در روسازی در نقاط گود جمع شود و توسط کانال های عرضی به خارج از روسازی هدایت شود.

۲-۲۰- اجرای لایه های زیراساس و اساس و رویه شنی

مقاومت و قدرت باربری لایه های زیراساس، اساس و رویه شنی به تراکم آن ها بستگی دارد. این لایه ها را باید در ضخامت های کم، پخش و درصد رطوبت بهینه کوبید. ساده ترین روش پخش مصالح سنگی، ابتدا ریسه کردن آن ها در طول و بر روی سطح آماده شده راه و سپس پخش آن با تیغه گریدر است. پخش مصالح توسط پخش کن مکانیکی (فینیشر) دارای دقت بیشتری است و ضخامت لایه بدست آمده یکنواخت تر است. با انجام آزمایش تراکم می توان مقدار آب مورد لزوم برای آبپاشی لایه های زیراساس، اساس و رویه شنی را بدست آورد.

فصل سوم

قیر، اندود نفوذی و اندود سطحی

فصل سوم

۳-۱- مقدمه

آخرین فرآورده طلای سیاه یعنی قیر که یکی از مشتقات نفت خام، باقیمانده حاصل از عمل تقطیر بوده و مواد متشکله آن آسفالتین و مالتین می‌باشد و شاید بی دلیل نباشد اگر قیر را با خواص ویژه طلای سیاه شبکه راه‌های ملی یک مملکت که جزء زیرساخت‌ها و سرمایه‌های ملی هر کشور به شمار می‌آید، تلقی کرد. قیر مهمترین و اثر بخش‌ترین جزء در عملکرد مخلوط‌های آسفالتی است. لذا ارزیابی مشخصات کیفی قیر و بررسی تاثیر آن در رویه‌های آسفالتی که با انجام یک‌سری آزمایش‌ها کنترل می‌شود، بسیار مهم است. براساس تعریف استاندارد ASTM قیر ماده‌ای چسبنده با رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه است که به صورت طبیعی یافت می‌شود و یا از نفت خام استخراج می‌شود و به شکل‌های جامد، نیمه جامد یا مایع (ویسکوز) می‌تواند باشد. قیر اصولاً از هیدروکربن‌های با وزن مولکولی بالا تشکیل شده است. براساس استاندارد BE بخش اول، قیر ماده‌ای جامد یا مایع (ویسکوز) که شامل هیدروکربن‌ها و مشتقات آن است و در تری‌کلرواتیلن حل می‌شود. این ماده به طور قابل ملاحظه‌ای غیر فرار است و با حرارت دادن نرم می‌شود. رنگ آن سیاه و یا قهوه‌ای، دارای خاصیت چسبندگی و عایق می‌باشد. قیر پس از پالایش نفت خام و یا به صورت طبیعی یافت می‌شود.

۳-۲- پیشینه قیر

قیر به عنوان ماده‌ای چسباننده و آب‌بند، سابقه‌ای چند هزار ساله دارد. قدیمی‌ترین مدارک استفاده از قیر طبیعی به حدود ۶۰۰۰ سال پیش در مناطق بین‌النهرین (بین رودخانه‌های دجله و فرات) بازمی‌گردد. در آن زمان، قیر به صورت طبیعی از چشمه‌های نفت خام یا رسوبات سطحی استخراج می‌شد و در ساخت بناها، آب‌بندی کانال‌ها، قایق‌ها و همچنین برای روسازی مسیرها به کار می‌رفت. تمدن‌هایی مانند سومری‌ها و بابلی‌ها این ماده را برای افزایش دوام سازه‌های خود به کار بردند. در مصر باستان، قیر علاوه بر کاربردهای صنعتی، در مراسم مومیایی کردن نیز استفاده می‌شد، که این نشان‌دهنده شناخت عمیق انسان از خواص شیمیایی و محافظتی این ماده بود. همچنین قیر طبیعی در تمدن‌های آمریکای جنوبی مانند مایاها نیز به عنوان چسب و درزگیر به کار رفته است. با آغاز انقلاب صنعتی در قرن ۱۸ و ۱۹، استخراج نفت خام و پالایش آن به شدت توسعه یافت و به مرور قیر مصنوعی به عنوان محصول جانبی پالایش نفت، جایگزین قیر طبیعی شد. قیر مصنوعی از نظر کیفیت و یکنواختی بسیار بهتر بود و به همین دلیل مورد توجه مهندسان راه‌سازی قرار گرفت. در دهه‌های اولیه قرن بیستم، استفاده از قیر در آسفالت‌ریزی و روسازی راه‌ها به شکل گسترده درآمد. با افزایش حجم و وزن خودروها، نیاز به روسازی‌های مقاوم‌تر و انعطاف‌پذیرتر موجب شد که انواع جدید قیرها و مواد افزودنی توسعه یابند. به طور خاص، قیرهای اصلاح‌شده با پلیمر توانستند مقاومت در برابر ترک‌خوردگی، فرسایش و تغییرات دمایی را به طور قابل توجهی افزایش دهند.

۳-۳- انواع قیر مورد استفاده در راهسازی

قیرهای مصرفی در راهسازی چنانچه از معدن به دست آید قیر طبیعی یا معدنی و هرگاه از پالایش نفت خام حاصل شود، قیر نفتی یا پالایشگاهی نام دارد. انواع قیر را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد.



۳-۴ - کاربرد قیر

در راهسازی از قیر برای اندودکاری و تهیه مخلوط‌های قیری که در ایران به آسفالت موسوم است، استفاده می‌شود. همچنین از این ماده برای چسباندن قشر رویه آسفالتی با یکدیگر (اندود سطحی) و با قشر اساس (اندود نفوذی) استفاده می‌شود.

مخلوط‌های قیری از مخلوط کردن مصالح سنگی و قیر به دست می‌آید و از آن برای ساختن لایه‌های روسازی استفاده می‌شود. از آنجا که خصوصیات مخلوط‌های قیری بستگی به خصوصیات مصالح تشکیل دهنده آن به خصوص نوع و خصوصیات قیر مصرفی دارد، پژوهش بر خصوصیات قیر در راستای شناخت و بهبود خواص آن بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. انتخاب نوع قیری که در راهسازی به کار می‌رود، با توجه به چند عامل مهم انجام می‌شود. این عوامل عبارتند از: شرایط جوی منطقه، نوع و شدت آمد و شد وسایل نقلیه، نوع روسازی، جنس و دانه‌بندی مصالح سنگی و نحوه اجرای روسازی. هر اندازه درجه حرارت متوسط سالیانه منطقه‌ای بیشتر باشد، باید از قیر کندروان‌تری برای ساختن روسازی آسفالتی استفاده شود. همچنین هر اندازه تعداد و وزن وسایل نقلیه بیشتر باشد، باید از قیر کندروان‌تری استفاده شود. در مناطق با آب و هوای سرد و خشک بهتر است، که از قیرهای محلول و در مناطق با آب و هوای مرطوب و یا با مصالح سنگی مرطوب بهتر است، از امولسیون‌های قیری استفاده شود.

۳-۵ - اندود سطحی و نفوذی

پخش یک لایه قیر با کندروانی کم و یا متوسط روی سطح شنی راه، اندود نفوذی و روی سطح آسفالتی یا بتنی راه، اندود سطحی نامیده می‌شود.

اندود نفوذی به منظور آماده کردن سطح شنی راه جهت پخش لایه آسفالتی اعم از آسفالت سطحی، آسفالت سرد یا آسفالت گرم انجام می‌شود. این اندود علاوه بر کمک به آب‌بندی کردن جسم راه و چسباندن سنگدانه‌ها به یکدیگر و نفوذ در خلل و فرج سطح قیرپاشی شده موجب چسبندگی قشر آسفالت به سطح راه می‌شود.

اندود سطحی جهت آغشته کردن سطح آسفالتی یا بتنی موجود و ایجاد چسبندگی با لایه آسفالتی که روی آن پخش می‌گردد، اجرا می‌شود.

نفوذ قیر در سطح راه شنی تابع ویسکوزیته قیر مورد مصرف و درجه حرارت اطراف است، لذا انتخاب مناسب‌ترین نوع قیر تابع ویسکوزیته قیر مورد مصرف، نوع دانه‌بندی بستر سنگی و فرآیند عمل آمدن قیر است. در صورت انجام شدن پریم‌کت در هوای سرد باید قیر RC-70 یا R-250 و MC-30 را مورد استفاده قرار داد. در هوای معتدل می‌توان به غیر از قیرهای نامبرده، از قیرهای MC-70 یا MC-250 نیز استفاده کرد. چنانچه دمای محیط بالای ۳۵ درجه سلسیوس باشد، می‌توان قیرهای SC-70 و SC-250 را نیز مورد استفاده قرار داد. در هوای بارانی و مه آلود نباید اندود نفوذی را اجرا کرد. برای اجرا نمودن اندود نفوذی، سطح کار باید کاملاً خشک یا دارای رطوبت نسبتاً پایینی باشد. در موقع پخش قیر، درجه حرارت هوا در سایه، چنانچه هوا رو به گرمی می‌رود، باید بیش از ۱۰ درجه سلسیوس و وقتی هوا رو به سردی می‌رود بیش از ۱۵ درجه سلسیوس باشد. مقدار قیر پس از ۲۴ ساعت کاملاً جذب راه می‌شود. از عبور و مرور وسایل نقلیه بر روی اندود نفوذی باید خودداری کرد. در صورت عبور کردن وسایل نقلیه از روی اندود نفوذی، باید طبق دستور دستگاه نظارت، بر روی سطح قیرپاشی، ماسه پاشیده شود.

۳-۶- آزمایش‌های پایه‌ای قیر

۳-۶-۱- آزمایش تعیین درجه‌ی اشتعال قیر

آزمایش تعیین درجه‌ی اشتعال قیر یکی از مهم‌ترین آزمون‌های ایمنی در کار با قیر محسوب می‌شود و هدف آن، مشخص کردن حداکثر دمای مجاز برای گرم کردن قیر بدون خطر آتش‌سوزی است. درجه اشتعال، دمایی است که در آن با نزدیک کردن شعله به سطح آزاد قیر، بخارات قابل اشتعال آن مشتعل شده و جرقه‌ای مشاهده می‌شود. از آنجا که قیرهای خالص، قطران و مخلوط آن‌ها مواد آتش‌گیری هستند، اطلاع از این دما برای جلوگیری از حوادث ناشی از گرمایش بیش از حد بسیار ضروری است. این آزمایش می‌تواند به دو روش مختلف انجام شود: روش ظرف روباز که مطابق استانداردهای ASTM D92-52 و AASHTO T48-53 انجام می‌شود، و روش ظرف رو بسته که بر اساس استانداردهای ASTM D93 و AASHTO T73 صورت می‌گیرد. در روش بسته، به دلیل تجمع کامل بخارات در محفظه، دمای اشتعال ثبت‌شده معمولاً کمتر از روش باز خواهد بود. همچنین، با توجه به این که قیر در دمای بالاتر از ۱۷۶ درجه سلسیوس خواص فیزیکی و شیمیایی خود را از دست می‌دهد، نباید در عمل، حرارت قیر از این مقدار فراتر رود.

برای اجرای آزمایش، ابتدا باید دمای تقریبی اشتعال را با گرم کردن قیر به صورت پیوسته با نرخ ۱۲ درجه در دقیقه مشخص کرد. از دمای ۱۴۰ درجه به بالا، شعله هر ۲ ثانیه یک‌بار از سطح قیر عبور داده می‌شود و در لحظه‌ای که اشتعال اتفاق بیفتد، دما ثبت می‌گردد. سپس یک نمونه جدید از قیر تا ۵۷ درجه کمتر از این دمای ثبت‌شده با همان نرخ گرم می‌شود، پس از آن سرعت افزایش دما به ۵ تا ۷ درجه در دقیقه و سپس به ۱ درجه در دقیقه کاهش می‌یابد. در این مرحله، شعله هر دو دقیقه یک‌بار از سطح قیر عبور داده می‌شود تا دمای دقیق اشتعال تعیین گردد. در آزمایش انجام‌شده،

درجه اشتعال نهایی برابر با ۲۰۵ درجه سلسیوس به دست آمد. خطاهای ممکن در این آزمایش شامل خطای انسانی در خواندن دما، گرم کردن غیر یکدست نمونه، و وجود ناخالصی در قیر می باشند که می توانند بر نتیجه نهایی تأثیرگذار باشند.

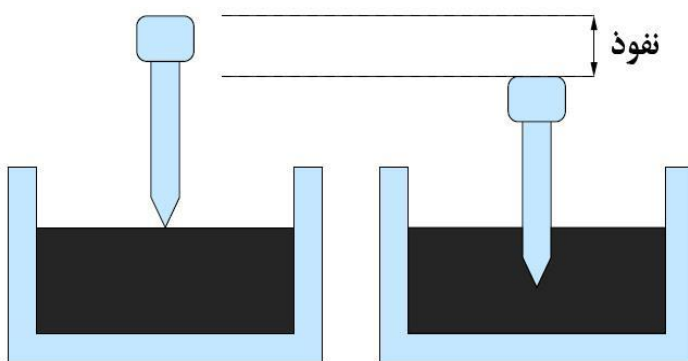


دستگاه انجام آزمایش درجه اشتعال قیر

۳-۶-۲- آزمایش درجه نفوذ

آزمایش تعیین درجه نفوذ قیر یکی از آزمون های بنیادی در مهندسی راه و ترابری است که برای تعیین سختی نسبی قیرهای خالص و قیرهای دمیده مورد استفاده قرار می گیرد. این ویژگی، یکی از شاخص های کلیدی در نام گذاری قیرهاست؛ به طوری که قیرهای خالص صرفاً بر اساس درجه نفوذ نام گذاری می شوند (مانند قیرهای ۴۰-۵۰ یا ۶۰-۷۰)، در حالی که در قیرهای دمیده علاوه بر درجه نفوذ، درجه نرمی نیز لحاظ می شود. بر اساس تعریف، درجه نفوذ برابر است با فاصله ای که یک سوزن استاندارد تحت بار ۱۰۰ گرمی در مدت زمان ۵ ثانیه در قیر قرار گرفته در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نفوذ می کند. هرچه قیر سخت تر باشد، میزان نفوذ سوزن کمتر و در نتیجه عدد درجه نفوذ پایین تر خواهد بود. این آزمون در استانداردهای معتبر نظیر ASTM D5-52 به طور کامل تشریح شده است و نقش مهمی در انتخاب نوع قیر مناسب با توجه به شرایط اقلیمی و بار ترافیکی منطقه ایفا می کند؛ به عنوان مثال، در مناطق گرم یا پرتراфик از قیرهای با نفوذ کمتر (سخت تر) استفاده می شود و بالعکس.

روش اجرای این آزمایش شامل آماده سازی نمونه قیر، تنظیم دمای آن، و اندازه گیری دقیق نفوذ سوزن در شرایط کنترل شده است. ابتدا قیر تا دمای حدود ۶۰ درجه یا بالاتر از نقطه نرمی گرم شده و درون ظرف استاندارد ریخته می شود؛ سپس پس از سرد شدن در دمای محیط، ظرف در حمام آب با دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس قرار می گیرد تا قیر و آب به تعادل گرمایی برسند. بعد از یک ساعت و نیم، آزمایش آغاز شده و با قرار دادن دستگاه نفوذسنج و تنظیم نوک سوزن بر سطح قیر، سوزن به مدت ۵ ثانیه رها می شود و میزان نفوذ آن بر حسب دهم میلی متر ثبت می گردد. این فرآیند چندین بار (معمولاً ۵ تا ۱۰ بار) برای هر نمونه تکرار می شود و میانگین نتایج به عنوان درجه نفوذ نهایی در نظر گرفته می شود. برای نمونه مورد بررسی، نتایج حاصل از آزمایش به ترتیب برابر با ۲۹.۳، ۲۸.۸ و ۲۹.۶ میلی متر (با ضریب ۰.۰۱) بوده که میانگین آن ۲۹.۲۳ میلی متر به دست آمده است. شایان ذکر است که در صورت انجام این آزمون در دمای برابر با نقطه نرمی، درجه نفوذ همه قیرها عددی نزدیک به ۸۰۰ خواهد شد؛ از همین رو مفهومی تحت عنوان «نشانه درجه نفوذ» تعریف شده که بیانگر حساسیت قیر به تغییرات دما است. این نشانه برای قیرهای راهسازی معمولاً بین ۲- تا ۲+ قرار دارد، در حالی که برای قیرهای قطرانی کمتر از ۲- و برای قیرهای دمیده بیشتر از ۲+ است.



شماتیک آزمایش درجه نفوذ قیر

۳-۶-۳- آزمایش تعیین چگالی

وزن مخصوص قیر یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم این ماده است که نقش کلیدی در طراحی و کنترل کیفیت آسفالت ایفا می‌کند. بر اساس تعریف، وزن مخصوص قیر برابر است با نسبت وزن حجم مشخصی از قیر به وزن آب هم‌حجم آن در دمای معین (معمولاً ۱۵/۶ یا ۲۵ درجه سلسیوس). این ویژگی به کمک قانون ارشمیدس و از طریق روش‌هایی مانند پیکنومتر و بوته نیکی اندازه‌گیری می‌شود. دانستن وزن مخصوص از دو جهت حائز اهمیت است: نخست اینکه در پروژه‌های راهسازی، مقدار قیر معمولاً به صورت درصد وزنی بیان می‌شود، اما در عمل به صورت حجمی اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین داشتن رابطه دقیق بین وزن و حجم قیر امری ضروری است. دوم اینکه وزن مخصوص می‌تواند به عنوان شاخصی برای شناسایی منبع قیر به کار رود؛ به عنوان مثال، قیرهای نفتی وزن مخصوصی در حدود یک دارند، در حالی که قیرهای قطرانی در بازه‌ی ۱/۱۰ تا ۱/۲۵ قرار می‌گیرند. از آن‌جا که حجم قیر با دما تغییر می‌کند، در صورت تغییر دمای آزمایش می‌توان از رابطه‌ی تصحیح حجمی استفاده نمود که شامل ضریب انبساط حرارتی قیر نیز می‌باشد:

$$G_{sb} = \frac{\gamma_b}{\gamma_w} = \frac{W_b}{V_b \gamma_w}$$

$$V_b = [1 + c(t - 15.6)]V_{25^\circ\text{C}}$$

$$G_s \leq 0.966 \rightarrow c = 0.00072$$

$$G_s \geq 0.966 \rightarrow c = 0.00063$$

در روش آزمایش با پیکنومتر، ابتدا پیکنومتر خالی و خشک توزین شده (W_1)، سپس با آب ۲۵ درجه سلسیوس پر و مجدد توزین می‌شود (W_w). در ادامه، پیکنومتر خشک شده را با مقدار مشخصی قیر پر کرده و وزن آن یادداشت می‌شود (W_2). در گام آخر، بدون خالی کردن قیر، پیکنومتر را تا خط نشانه با آب مقطر پر کرده و دوباره توزین می‌شود (W_3). برای دقت بیشتر، لازم است قیر مورد استفاده به خوبی گرم شود تا به صورت مایع درآمده و حباب‌های هوا از آن خارج شوند، چرا که وجود هوا در نمونه می‌تواند منجر به خطا در نتایج شود. با استفاده از رابطه زیر، وزن مخصوص قیر در دمای آزمایش به دست می‌آید:

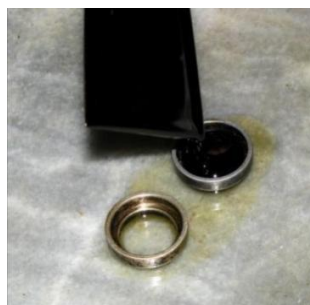
$$\text{وزن مخصوص قیر} = \frac{W_2 - W_1}{(W_w - W_1) - (W_3 - W_2)} = \frac{39.5 - 31}{(56.4 - 31) - (55.9 - 39.5)} = 0.94$$



۳-۶-۴- آزمایش درجه نرمی

آزمایش تعیین نقطه نرمی قیر با هدف مشخص کردن دمایی انجام می‌شود که در آن قیر به گرانیروی مشخصی رسیده و حالت نرمی پیدا می‌کند. یکی از متداول‌ترین روش‌های انجام این آزمایش، روش حلقه و گلوله است که طبق آن، نقطه نرمی دمایی است که در آن گلوله فلزی قرار گرفته بر روی سطح قیر، حلقه را ترک کرده و پس از طی مسافت ۲۵ میلی‌متر به صفحه فلزی زیرین برخورد می‌کند. این نقطه دما، معیاری برای انتخاب نوع قیر در شرایط جوی مختلف است. در مناطق گرم‌سیر یا پر رفت‌وآمد، از قیری با نقطه نرمی بالاتر استفاده می‌شود تا مقاومت به تغییر شکل در برابر گرما و بار ترافیکی حفظ شود.

در روند اجرای آزمایش، قیر ذوب شده درون حلقه‌های فلزی مخصوص ریخته شده و پس از صاف شدن سطح آن، در بشر حاوی آب قرار می‌گیرد. بعد از قرارگیری ساچمه‌ها روی سطح قیر، با حرارت‌دهی تدریجی (۵ درجه در دقیقه)، دمایی که در آن گلوله به ته بشر برخورد می‌کند، ثبت می‌شود. میانگین دمای دو بار آزمایش انجام‌شده به عنوان نقطه نرمی قیر گزارش می‌شود. در نمونه مورد بررسی، هر دو گلوله در دمای ۵۲ درجه سلسیوس به سطح پایین رسیدند که این مقدار نشان‌دهنده درجه نرمی قیر مذکور است.





۳-۶-۵- آزمایش افت وزنی قیر

آزمایش افت وزنی قیر به منظور تعیین درصد کاهش وزن نمونه قیر است که به مدت ۵ ساعت در دمای ۱۶۳ درجه سلسیوس در دستگاه مجهز به تهویه قرار می‌گیرد. این آزمایش در واقع نوعی تقطیر قیر محسوب می‌شود و میزان فراریت نسبی حلال‌های موجود در قیر را در دمای ذکر شده نشان می‌دهد. دمای ۱۶۳ درجه به این دلیل انتخاب شده که در این دما عملیات اختلاط قیر و مصالح سنگی برای تهیه آسفالت انجام می‌گیرد. قیرهای خالص و مرغوب معمولاً افت وزنی کمتر از یک درصد دارند و قیرهای نرم‌تر (با درجه نفوذ بالاتر) معمولاً افت وزنی بیشتری نشان می‌دهند. روش انجام آزمایش شامل وزن کردن ظرف استوانه‌ای خالی، ریختن قیر مذاب در آن، سرد کردن نمونه و سپس قرار دادن آن در گرمخانه با دمای ثابت ۱۶۳ درجه که دمای اختلاط قیر و مصالح سنگی است، به مدت ۵ ساعت می‌باشد. پس از این زمان، نمونه سرد شده و وزن ظرف به همراه قیر دوباره اندازه‌گیری می‌شود. درصد افت وزنی قیر از اختلاف وزن قبل و بعد از آزمایش نسبت به وزن اولیه محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده میزان تبخیر و فراریت مواد سبک‌تر قیر است. این پارامتر اهمیت زیادی در تعیین کیفیت و خواص قیر دارد. نتیجه آزمایش را بایستی بر حسب کاهش وزن قیر نسبت به وزن اولیه آن سنجید که مطابق فرمول زیر بدست می‌آید :

$$\text{درصد افت وزنی قیر} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

که در آن:

W1: وزن ظرف و قیر قبل از قرار دادن در گرمخانه

W2: وزن ظرف و قیر بعد از قرار دادن در گرمخانه



فصل چهارم

روسازی آسفالتی

فاز اول
از فاز دوم
پیش می‌رود

۴-۱- مقدمه

اولین قشر لایه روسازی، مخلوط‌های آسفالتی هستند. آسفالت گرم، مخلوطی است از سنگدانه‌های شکسته و دانه‌بندی شده و فیلر که در کارخانه آسفالت حرارت داده شده و با قیر گرم در درجه حرارت‌های معین، مخلوط و به همان صورت گرم برای مصرف در راه، حمل، پخش و کوبیده می‌شود. دوام زیاد، تولید یکنواخت، کنترل درجه حرارت و رطوبت مصالح و آماده شدن سریع برای عبور ترافیک، از مزایای آسفالت گرم می‌باشد که بدون هیچگونه محدودیتی در راه‌ها، خیابان‌ها، فرودگاه‌ها، باراندازها، پایانه‌ها و پارکینگ‌ها مورد مصرف قرار می‌گیرد.

۴-۲- آسفالت گرم رویه (توپکا)

آسفالت رویه آخرین قشر بتن آسفالتی است که در تماس مستقیم با بارهای وارده از ترافیک و عوامل جوی محیط قرار می‌گیرد. آسفالت رویه طوری طراحی و اجرا می‌گردد که تحمل بارهای وارده را داشته و در مقابل اثرات سوء آب، یخبندان و تغییرات درجه حرارت، مقاومت کرده و دوام آورد. قشر رویه نسبت به قشر آستر و اساس قیری، دارای دانه‌بندی ریزتر، فضای خالی سنگدانه‌های آن زیادتر و در نتیجه قیر بیشتر است. حداکثر اندازه سنگدانه‌ها در این قشر بین ۹/۵ تا ۱۹ میلیمتر می‌باشد که با توجه به بافت سطحی مورد نیاز و نوع ترافیک و شرایط آب و هوایی، انتخاب می‌شود. چنانچه درصد رد شده از الک شماره ۸ دانه‌بندی به حداکثر و یا حداقل مجاز میل کند، به ترتیب بافت سطحی ریز یا درشت می‌شود. برای افزایش دوام آسفالت رویه و بهبود مقاومت آن در مقابل لغزندگی، شیارافتادگی و تخلیه سریع آب‌های سطحی به خارج از عرض سواره رو، می‌توان از یک نوع آسفالت رویه بنام آسفالت ماستیک درشت دانه (SMA) با مصالح سنگی صد درصد شکسته و با دانه‌بندی گسسته و قیر و فیلر زیادتر نسبت به آسفالت گرم معمولی استفاده کرد.

۴-۳- آسفالت گرم آستر (ببندر)

این قشر بتن آسفالتی، بین قشر رویه و قشر اساس قیری و در صورت عدم وجود قشر اساس قیری، بین قشر رویه و قشر اساس سنگ شکسته قرار می‌گیرد. دانه‌بندی آن درشت‌تر از آسفالت رویه و مقدار قیر آن کمتر است. حداکثر اندازه سنگدانه‌های آن از ۱۹ تا ۳۷/۵ میلی‌متر می‌باشد. گاهی اوقات در شرایط ترافیک خیلی سنگین، از جمله در بنادر و اسکله‌ها، مشروط بر آن که بافت سطحی آن مشکلی ایجاد نکند، از دانه‌بندی‌های قشر ببندر با سنگدانه‌های حداکثر اندازه ۲۵ میلی‌متر که در مقابل تغییر شکل ناشی از بارهای خیلی سنگین و هوای گرم، حساسیت کمتری دارد، برای قشر رویه استفاده می‌شود.

۴-۴- ماسه آسفالت

ماسه آسفالت از اختلاط ماسه شکسته و یا ماسه طبیعی شسته و یا مخلوطی از این دو با قیر تهیه می‌گردد. ماسه آسفالت را می‌توان در قشرهای به ضخامت حداقل ۱۵ میلی‌متر و بیشتر پخش و اجرا کرد. از ماسه آسفالت به عنوان قشر تسطیح آسفالت‌های قدیمی (قبل از روکش) نیز استفاده می‌شود. چون مقاومت مارشال ماسه آسفالت در مقایسه با مقاومت سایر

مخلوط‌های آسفالت گرم و بتن آسفالتی که دانه‌بندی درشت‌تر از ماسه دارند، کمتر است، لذا موارد مصرف آن باید به تناسب مقاومت مارشال و سایر ویژگی‌های آن و رابطه آن‌ها با انواع ترافیک سبک، متوسط و سنگین انتخاب شود.

۴-۵- آسفالت متخلخل

این آسفالت از اختلاط قیر خالص اصلاح شده با مصالح سنگی صددرصد شکسته دارای دانه‌بندی باز در کارخانه آسفالت گرم تهیه و با ضخامت حدود ۲۵ تا ۴۰ میلی‌متر اجرا می‌شود. فضای خالی این آسفالت گرم بعد از کوبیده شدن در سطح راه، حدود ۲۰ درصد است. این قشر، جزء سیستم روسازی محسوب نمی‌شود و نمی‌توان از آن به عنوان قشر جایگزین رویه اصلی استفاده کرد. مزایای این آسفالت به یک یا چند مورد از موارد زیر که به ویژگی‌های عملکردی آن بستگی دارد، محدود می‌شود:

- باعث تخلیه سریع آب‌های سطحی رویه راه به خارج از عرض سواره رو می‌شود.
- مانع پدیده ایستابی در سطح راه و در نتیجه ایمنی بیشتر عبور و مرور می‌شود.
- کاهش پدیده پاشش و پخش آب که موجب افزایش قابلیت دید و ایمنی می‌شود.
- متوسط صدای تولید شده تا حدود ۳ dB(A) کمتر از میزان سروصدای تولید شده در آسفالت گرم معمولی است.
- رویه آسفالت متخلخل در حالت خشک و حتی با رندگی، مانع از انعکاس نور چراغ‌های جلوی وسیله‌نقلیه‌های مقابل می‌شود که ناشی از عملکرد پخش نور آن است.
- موجب افزایش تاب لغزشی و ضریب اصطکاک سطح راه می‌شود که ناشی از مصرف حدود ۸۵ درصد مصالح درشت‌دانه (بیشتر از ۲ میلی‌متر) و صد در صد شکسته آن است.

۴-۶- پارامترهای روسازی آسفالتی

با توجه به اینکه راه‌های آسفالتی دائماً تحت تاثیر عوامل مخرب ترافیک و جوی قرار دارند، تدریجاً فرسوده می‌شوند. برای بالا بردن دوام و عمر مفید راه‌ها لازم است موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- دقت در طرح و اجرای صحیح آسفالت
 - مراقبت دائمی و مرمت به موقع معایب و سعی در از بین بردن علل آن
- از عواملی که در دوام و عمر راه‌ها و خیابان‌ها موثر است، نوع و کیفیت آسفالت می‌باشد. ر مشخصات فنی معمولاً نوع آسفالت تعیین می‌گردد و برای دانه‌بندی مصالح سنگی و عواملی که در خصوصیات آسفالت موثر هستند، حدودی پیش‌بینی می‌گردد. بتن آسفالتی ترکیبی از مصالح سنگی و قیر که به طور یکنواخت دور سنگدانه‌ها را می‌پوشاند. مشخصات و خصوصیات مخلوط آسفالتی بستگی به نوع دانه‌بندی و نسبت اختلاط مصالح سنگی و قیر و همچنین نحوه اختلاط، پخش و کوبیدن آن‌ها خواهد داشت. به همین دلیل است که در شرایط جوی مختلف با توجه به امکانات و نوع استفاده‌ی که از قشر آسفالتی انتظار می‌رود و همچنین امکانات موجود، مخلوط‌های متنوع و دستورالعمل‌های مختلف پیش‌بینی می‌شود. برای حصول این مشخصات مخلوط آسفالتی باید دارای خصوصیات همچون استحکام، پایداری، دوام،

نفوذناپذیری، کارایی، انعطاف‌پذیری، تاب خستگی، تاب لغزشی و ... باشند که هدف اصلی از طرح مخلوط‌های آسفالتی، حصول شرایطی است که بین کلیه خواص مطلوب تعادل برقرار نماید.

۴-۶-۱- استحکام (پایداری)

منظور از استحکام، در واقع پایداری و یا میزان مقاومت مخلوط آسفالت اجرا شده در مقابل نیروهای وارده از نظر جابجایی و تغییر شکل می‌باشد. علائم ناپایداری در آسفالت با مشاهده موج یا شیار در سطح آسفالت مشخص می‌گردد. پایداری یا استحکام آسفالت به اصطکاک داخلی، تماس و چسبندگی بین اجزای تشکیل دهنده آن بستگی دارد. اصطکاک داخلی به شکل مصالح سنگی، بافت سطح آسفالت، دانه‌بندی مصالح سنگی، غلظت مخلوط آسفالتی و میزانتقیر آن مربوط است و به طور خلاصه، استحکام ترکیبی از اصطکاک و میزان درگیری و بهم پیوستگی مصالح سنگی است و هرچه دانه های سنگی زبرتر و سطح تماس بین آنها بیشتر باشد، مقاومت اصطکاکی مخلوط آسفالتی بیشتر خواهد بود. از سوی دیگر، استحکام آسفالت به غلظت آن ارتباط دارد که این غلظت با انتخاب مصالح سنگی با دانه‌بندی ریزتر که طبعاً دارای فضای خالی بیشتری می‌باشد و کفایت میزان تراکم مخلوط آسفالتی، افزایش خواهد یافت. وجود قیر اضافی سبب کاهش اصطکاک بین مصالح سنگی خواهد شد. قیر سبب پایداری فشار ایجاد شده در سطح تماس بین دانه‌ها می‌باشد. چسبندگی با مقدار نیرو و سطحی که نیرو بر آن وارد می‌شود و با لزجت (ویسکوزیته) قیر نسبت مستقیم و با دما نسبت عکس دارد.

۴-۶-۲- عامل چسبندگی

عامل چسبندگی مخلوط آسفالتی بستگی به همان عواملی دارد که در غلظت مخلوط موثر هستند ولی اثر چسبندگی با اثر غلظت مخلوط متفاوت است به طوریکه تجربه نشان داده موقعی که بین دانه های مصالح سنگی در نقطه تماس فشاری به وجود می‌آید، قیر این فشار را جذب کرده، مانع تغییر شکل دانه‌ها از محل خود می‌گردد. به علاوه دانه‌های مصالح سنگی را به هم چسبانده و در اثر سایش حاصل از عبور وسایل نقلیه دانه‌های مصالح سنگی جدا نمی‌شود. خواص شیمیایی قیر و مصالح سنگی و اثر متقابل این دو با هم و بافت سطحی مصالح سنگی اصلی ترین عامل میزان چسبندگی در مخلوط آسفالتی را ایجاد می‌کنند. همچنین جنس، کیفیت، کمیت و مشخصات فیلر مورد استفاده نیز نقش بسزایی در این مقوله ایفا می‌کند و می‌تواند در برخی از موارد بخشی از نقاط ضعف در چسبندگی را در مخلوط مرتفع نماید.

۴-۶-۳- اینرسی مخلوط

موقعی که وسایل نقلیه از روی راه عبور می‌کنند، مخلوط آسفالتی در مقابل تغییر وضع مقاومت می‌کند. این نیروی مقاوم ناشی از اینرسی رویه راه، بستگی به وزن وسایل نقلیه و سرعت آنها و قسمتی از رویه راه دارد که تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

۴-۶-۴- دوام

خاصیتی از مخلوط آسفالتی که نشانگر مشخصات آسفالت و پایداری مخلوط از نظر جدایی اجزای متشکله آن در اثر فرسایش ناشی از عبور ترافیک و عوامل طبیعی و آب و هوا است، دوام آسفالت نام دارد. معمولاً دوام آسفالت در اثر وجود درصد قیر زیاد، غلظت زیاد، تراکم مناسب و نفوذپذیری آسفالت افزایش می یابد. به عبارتی دوام مخلوط آسفالتی را می توان با سه روش بهبود داد:

- به حداکثر رساندن ضخامت لعاب یا فیلم قیر روی سنگانه ها
- طراحی مخلوط با مصالح با دانه بندی توپر و مقاوم به رطوبت
- تراکم مخلوط در محل با ۸ درصد یا کمتر فضای خالی

افزایش قیر سبب ایجاد قشر ضخیم تری از قیر روی سنگدانه ها می شود که سرعت تخریبی عوامل ناشی از عمر آسفالت را کاهش می دهد. علاوه بر این وجود قیر بیشتر، سبب کاهش میزان فضای خالی به هم پیوسته داخل مخلوط شده، به همین دلیل نفوذ آب به داخل آسفالت مشکل تر می شود. کمبود قیر باعث جدا شدن دانه های سنگی در سطح آسفالت می شود. از سوی دیگر حرارت دادن بیش از حد به قیر هنگام تهیه آسفالت باعث ایجاد شکنندگی و در نتیجه فرسایش آسفالت خواهد شد. آسفالتی که دارای مقدار بیش از حدی قیر باشد به طوریکه تمام فضای خالی مصالح سنگی با قیر پر شده باشد، ممکن است از نظر دوا بهترین شرایط را داشته باشد اما این میزان قیر از نظر استحکام نامطلب است. چنین مخلوطی زیر بار ترافیک دچار خرابی هایی از جمله شیارشدگی، موج و قیرزدگی می شود.

۴-۷-۷- انعطاف پذیری

شکل پذیری قشر آسفالتی مطابق تغییرشکلی که در قشرهای اساس و زیراساس و همچنین جسم راه در طول زمان به وجود می آید، بدون اینکه سطح راه ترک بخورد را انعطاف پذیری می گویند. به تعبیری دیگر، انعطاف پذیری خاصیت تطبیق یافتن آسفالت به نشست و جابجایی قشراساس و زیراساس و سابگرد است. معمولاً انعطاف پذیری آسفالت با افزایش مقدار قیر و درشت دانه بودن مصالح سنگی، افزایش می یابد.

۴-۸-۸- نفوذناپذیری

ممانعت مخلوط آسفالتی از نفوذ هوا و آب به داخل هت نفوذناپذیری نامیده می شود. مخلوط آسفالتی باید در مقابل نفوذ آب و هوا مقاوم باشد. فضاهای خالی مرتبط بین دانه های مصالح سنگی و اتصال آن ها به سطح راه معرف نفوذپذیری آسفالت است. اگر چه مقدار فضای خالی نشانه ای از قابلیت عبود هوا و آب از درون روسازی است، خصوصیات فضای خالی از تعداد آن ها اهمیت بیشتری دارد. بزرگی و تعداد فضاهای خالی و مرتبط بودن یا نبودن آن ها و نحوه ارتباط با سطح روسازی همگی در میزان نفوذناپذیری مهم هستند. نحوه کوبیدن آسفالت و استفاده از غلطک های مناسب و کافی، در نفوذپذیری فوق العاده موثر است.

۹-۴ - مقاومت در برابر خستگی

منظور از مقاومت در برابر خستگی، پایداری آسفالت در مقابل خمش و تنش تکرار شونده حاصل از عبور و مرور ترافیک است. میزان قیر موجود در آسفالت تاثیر مستقیمی در میزان تحمل آن در برابر خستگی داشته و مخلوط آسفالتی که با مصالح ریزدانه‌تر (با فضای خالی بیشتر) ساخته شده باشد، در برابر خستگی مقاوم‌تر است. با افزایش فضای خالی، تاب خستگی کاهش می‌یابد. همچنین روسازی اجرایی با قیر سخت شده و اکسیده و پیری قیر مقاومت خستگی را کاهش می‌دهد. خصوصیات ضخامت و مقاومت و باربری روسازی و بستر نیز در عمر روسازی و پیشگیری از ایجاد ترک موثر است.

۱۰-۴ - زبری سطح آسفالت

مقاومت در برابر لغزش به مفهوم مقاومت سطح آسفالت اجرا شده در مقابل سرخوردن، لغزش و یا جهش ترافیک عبور کننده است به خصوص در شرایطی که سطح آسفالت مرطوب باشد. تامین تاب لغزشی مناسب، عاج لاستیک باید به جای حرکت بر روی لایه‌ای از آب در سطح روسازی قادر به حفظ تماس با دانه‌های مصالح سنگی باشد. عوامل ایجاد کننده مقاومت بیشتر در برابر لغزش، عموماً همان است که برای تامین استحکام بیشتر لازم است. در این زمینه میزان قیر مطلوب و زبری سطح مصالح سنگی بیشترین تاثیر را دارد. آسفالتی که دارای قیر اضافی باشد، قیر آزاد آن باعث لغزندگی در سطح جاده خواهد شد.

۱۱-۴ - کارایی

کارایی، قابلیت و سهولت پخش و کوبیدن آسفالت است به طوری که خوب کوبیده شود و سطح آن صاف و هموار گردد. منظور از کارایی، همان راحتی عمل پخش و حصول تراکم لازم است. در صورتیکه در طرح اختلاط آسفالت و انتخاب ماشین آلات پخش و تراکم دقت شود، تامین سهولت کاربرد به آسانی امکان پذیر است.

۱۲-۴ - دانه‌بندی

اولین گام در طرح اختلاط آسفالت تعیین بازه مجاز دانه‌بندی مصالح سنگی متناسب با اهداف و نوع مخلوط آسفالتی است که در برخی موارد رواداری مصالح کارگاه به عنوان اولین گزینه مطرح می‌باشد. در نشریه ۲۳۴ مخلوط آسفالت گرم بر حسب مورد باید با یکی از دانه‌بندی‌های جدول (۴-۱) مطابقت داشته باشد.

جدول ۴-۱- دانه بندی پیوسته مخلوط اسفالتی

درصد وزنی رد شده از هر الک							شماره دانه بندی اندازه الک
۷۴ (رویه)	۶۰ (رویه)	۵ (رویه)	۴ (آستر و رویه)	۳ (اساس قیری و آستر)	۲ (اساس قیری و آستر)	۱ (اساس قیری)	
---	---	---	---	---	---	۱۰۰	۵۰ میلیمتر (۲ اینچ)
---	---	---	---	---	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۳۷/۵ میلیمتر (۱/۵ اینچ)
---	---	---	---	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	---	۲۵ میلیمتر (۱ اینچ)
---	---	---	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	---	۵۶-۸۰	۱۹ میلیمتر ($\frac{3}{4}$ اینچ)
---	---	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	---	۵۶-۸۰	---	۱۲/۵ میلیمتر ($\frac{1}{2}$ اینچ)
---	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	---	۵۶-۸۰	---	---	۹/۵ میلیمتر ($\frac{3}{8}$ اینچ)
۱۰۰	۸۰-۱۰۰	۵۵-۸۵	۴۴-۷۴	۲۵-۶۵	۲۹-۵۹	۲۲-۵۲	۴/۷۵ میلیمتر (شماره ۴)
۹۵-۱۰۰	۶۵-۱۰۰	۳۲-۶۷	۲۸-۵۸	۲۲-۴۹	۱۹-۴۵	۱۵-۴۱	۲/۳۶ میلیمتر (شماره ۸)
۸۵-۱۰۰	۴۰-۸۰	---	---	---	---	---	۱/۱۸ میلیمتر (شماره ۱۶)
۷۰-۹۵	۲۵-۶۵	---	---	---	---	---	۰/۶ میلیمتر (شماره ۳۰)
۴۵-۷۵	۷-۴۰	۷-۲۲	۵-۲۱	۵-۱۹	۵-۱۷	۴-۱۶	۰/۳ میلیمتر (شماره ۵۰)
۲۰-۴۰	۲-۲۰	---	---	---	---	---	۰/۱۵ میلیمتر (شماره ۱۰۰)
۹-۲۰	۲-۱۰	۲-۱۰	۲-۱۰	۲-۸	۱-۷	۰-۶	۰/۰۷۵ میلیمتر (شماره ۲۰۰)

فصل پنجم

طراحی روسازی

فصل پنجم

۵-۱- مقدمه

بررسی وضعیت ژئوتکنیک راه یکی از مراحل مقدماتی اما بسیار حیاتی در فرآیند طراحی روسازی آسفالتی به شمار می‌آید. این مرحله در واقع پایه و اساس طراحی روسازی را شکل می‌دهد و بدون شناخت کافی از ویژگی‌های خاک بستر، هر نوع طراحی روسازی ممکن است با خطای جدی مواجه شود. هدف اصلی از بررسی ژئوتکنیکی، شناخت کامل از وضعیت فیزیکی و مکانیکی خاک‌های زیر بستر مسیر راه است؛ چرا که عملکرد بلندمدت روسازی، مقاومت آن در برابر بارهای ترافیکی و شرایط محیطی و همچنین دوام آن، به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های بستر خاک قرار دارد. در این بررسی، ابتدا عملیات شناسایی میدانی شامل گمانه‌زنی، برداشت نمونه‌های خاک در عمق‌های مختلف و انجام آزمایش‌های صحرایی مانند SPT، CPT یا بارگذاری صفحه‌ای انجام می‌شود. پس از آن، نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل شده و آزمایش‌هایی نظیر دانه‌بندی، حدود اتربرگ، تراکم، CBR، مقاومت برشی، تورم و جمع‌شدگی و سایر خصوصیات ژئوتکنیکی روی آن‌ها صورت می‌گیرد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، خاک‌ها طبقه‌بندی می‌شوند (مثلاً بر اساس سیستم AASHTO یا USCS) و سپس مناسب‌ترین روش طراحی روسازی انتخاب می‌گردد. مهم‌ترین پارامترهایی که در این مرحله به آن‌ها توجه می‌شود، ضریب باربری خاک (CBR)، مدول کشسان بستر ($E_{subgrade}$) و در برخی روش‌ها مدول عکس‌العمل بستر (k_{value}) هستند. خاک‌هایی با CBR پایین یا رفتار ناپایدار ممکن است نیاز به تقویت، تعویض یا تثبیت داشته باشند. در پروژه‌های عمرانی ایران، تثبیت با آهک، سیمان یا مصالح جایگزین رایج است. همچنین باید به خاک‌های مسئله‌داری چون خاک‌های رسی اشباع، واگرا، تورمی یا شور دقت ویژه‌ای داشت، زیرا این خاک‌ها در برابر تغییرات رطوبت یا بارگذاری دچار تغییر حجم، نشست یا کاهش مقاومت می‌شوند. در چنین شرایطی اجرای زهکشی مناسب، تسطیح دقیق و لایه‌های فیلتر زیر روسازی ضروری خواهد بود. از دیدگاه اجرایی، یکی از چالش‌های رایج تفاوت مشخصات خاک واقعی با اطلاعات مندرج در گزارش ژئوتکنیکی است، به‌ویژه در پروژه‌هایی که مطالعات اولیه به‌صورت سطحی یا محدود انجام شده‌اند. به همین دلیل حضور مستمر ناظر ژئوتکنیک در حین خاکبرداری و اصلاح بستر و بازبینی مستمر گزارشات با وضعیت واقعی محل، از اهمیت بالایی برخوردار است. در مجموع، بررسی دقیق و علمی خاک بستر، نه تنها کیفیت و دوام روسازی را تضمین می‌کند، بلکه باعث کاهش هزینه‌های نگهداری و جلوگیری از خرابی‌های زودرس در طول بهره‌برداری از راه می‌شود.

۵-۲- روش‌های طراحی روسازی

روش‌های طراحی روسازی به‌طور کلی به سه دسته اصلی روش‌های تجربی، روش‌های مکانستیک-تجربی و روش‌های کاملاً مکانستیک تقسیم می‌شوند. هر یک از این روش‌ها بر پایه سطحی از تحلیل، داده‌های مورد استفاده و دقت طراحی متمایز می‌شوند و کاربردهای خاص خود را دارند. انتخاب روش مناسب معمولاً براساس اهمیت مسیر، شرایط ترافیکی، اقلیمی، سطح دسترسی به داده‌ها و امکانات نرم‌افزاری انجام می‌گیرد.

در روش‌های تجربی، طراحی بر اساس نتایج میدانی، آزمون‌های گذشته و داده‌های جمع‌آوری شده از پروژه‌های اجرایی انجام می‌شود. در این روش‌ها معمولاً رابطه‌ای بین پارامترهای ساده‌ای مانند ضریب باربری خاک (CBR)، حجم ترافیک

و ضخامت لایه‌ها برقرار می‌شود. این روش‌ها ساده و سریع هستند و در پروژه‌هایی با اهمیت پایین یا شرایط داده‌ای محدود کاربرد گسترده‌ای دارند. از جمله روش‌های تجربی می‌توان به روش CBR، روش آشتو ۱۹۷۲ و ۱۹۹۳ و همچنین روش‌های داخلی مانند نشریه ۲۳۴ اشاره کرد. با وجود سادگی، این روش‌ها دقت محدودی دارند و معمولاً به شرایط خاص توسعه‌دهنده وابسته‌اند، به‌طوری که نمی‌توان آن‌ها را به راحتی به شرایط اقلیمی یا خاکی متفاوت تعمیم داد. روش‌های مکانستیک-تجربی گامی پیشرفته‌تر در طراحی روسازی هستند که سعی دارند بین اصول مکانیکی و داده‌های تجربی تعادل ایجاد کنند. در این روش‌ها، پاسخ سازه‌ای روسازی (نظیر تنش‌ها و کرنش‌ها در لایه‌های مختلف) با استفاده از تحلیل‌های تئوریک (مثلاً روش چندلایه برمیستر) محاسبه شده و سپس با استفاده از مدل‌های خرابی تجربی (مانند تعداد مجاز بارگذاری برای ایجاد ترک یا تغییر شکل دائمی) عمر روسازی تخمین زده می‌شود. روش‌هایی مانند شل، MEPDG (راهنمای جدید طراحی AASHTO) و طراحی مبتنی بر مدول الاستیسیته مصالح، از این گروه هستند. این روش‌ها انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به روش‌های تجربی دارند و برای شرایط متغیر اقلیمی، ترافیکی و خاکی قابل استفاده‌اند. همچنین امکان تحلیل چند سناریو و مقایسه گزینه‌های مختلف روسازی را نیز فراهم می‌کنند. روش‌های مکانستیک بر پایه مدلسازی دقیق تنش و کرنش و تحلیل عددی پیشرفته قرار دارند. در این روش‌ها، هیچ داده تجربی یا مدل خرابی از پیش تعیین‌شده‌ای وارد نمی‌شود، بلکه همه چیز بر اساس تحلیل تئوریک کامل محاسبه می‌شود. این روش‌ها معمولاً شامل تحلیل‌های الاستیک چندلایه، مدل‌های المان محدود (FEM)، یا حتی مدل‌های پیچیده‌تر ویسکوالاستیک برای لایه آسفالتی هستند. گرچه این روش‌ها دقت بسیار بالایی دارند، اما به دلیل نیاز به داده‌های دقیق، زمان تحلیل طولانی و پیچیدگی بالا، بیشتر در مطالعات تحقیقاتی، تحلیل عملکرد، یا پروژه‌های بسیار خاص استفاده می‌شوند و کمتر به صورت اجرایی به کار می‌روند.

۳-۵- مراحل طراحی روسازی آسفالتی

أ) تعیین مشخصات پروژه و شرایط محیطی

اولین مرحله از طراحی روسازی، شناخت دقیق از شرایط کلی پروژه است. این اطلاعات شامل موقعیت جغرافیایی مسیر، نوع کاربری راه (شریانی، روستایی، دسترسی محلی و غیره)، طول و عرض مسیر، ارتفاع از سطح دریا، شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی منطقه و نوع زمین موجود می‌شود. شرایط اقلیمی از جمله میزان بارش سالانه، دمای متوسط، نوسانات حرارتی و تعداد روزهای یخبندان، نقش مستقیمی در انتخاب نوع و ضخامت لایه‌های روسازی دارند. همچنین نوع خاک بستر (مثلاً خاک رس، شن یا ترکیبی از آن‌ها) و شرایط زهکشی طبیعی یا مصنوعی در تعیین طراحی مناسب مؤثرند. در این مرحله همچنین باید به شرایط احتمالی اجرایی مثل سطح ایستابی بالا، وقوع سیلاب یا خاک‌های نمکدار توجه شود، چرا که این عوامل ممکن است در مراحل بعدی، نیاز به اصلاح یا تغییر در طراحی را ایجاد کنند.

ب) تحلیل ترافیک و محاسبه بار معادل (ESALs)

در مرحله دوم، اطلاعات مربوط به ترافیک عبوری از مسیر در دوره بهره‌برداری مورد بررسی قرار می‌گیرد. این اطلاعات شامل حجم متوسط ترافیک روزانه (ADT)، درصد وسایل نقلیه سنگین (HV)، نرخ رشد سالانه ترافیک و طول دوره طراحی (معمولاً بین ۱۵ تا ۳۰ سال) است. از این داده‌ها برای محاسبه تعداد محورهای معادل تک‌محوره ۸۱۷۰ کیلوگرمی (ESALs) استفاده می‌شود که شاخص اصلی در تعیین بارگذاری وارد بر روسازی است. محاسبه ESAL با استفاده از ضرایب تبدیل برای انواع وسایل نقلیه انجام می‌شود که بسته به نوع، وزن و میزان بارگذاری هر وسیله متغیر است. در شرایط واقعی، این داده‌ها می‌تواند از سازمان‌های حمل‌ونقل، سامانه‌های شمارش ترافیک یا مطالعات میدانی به‌دست آید. در صورت نبود داده دقیق، برآورد با استفاده از آمار ترافیکی منطقه‌ای یا استانداردهای راهنما انجام می‌شود. دقت در این مرحله برای اطمینان از طراحی پایدار و اقتصادی حیاتی است.

ج) بررسی خاک بستر و تعیین ظرفیت باربری آن

پس از مشخص شدن بارگذاری ترافیکی، نوبت به بررسی وضعیت ژئوتکنیکی خاک بستر می‌رسد. در این مرحله، خاک موجود در محل پروژه از طریق عملیات گمانه‌زنی، آزمایش‌های میدانی (مانند نفوذ استاندارد SPT، یا بارگذاری صفحه‌ای) و آزمایش‌های آزمایشگاهی (مانند تعیین CBR، دانه‌بندی، حدود اتربرگ، رطوبت طبیعی و غیره) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مهم‌ترین پارامتری که برای طراحی روسازی استفاده می‌شود، ضریب باربری کالیفرنیا (CBR) یا در روش‌های پیشرفته‌تر، مدول کشسان خاک زیرروسازی ($E_{subgrade}$) است. خاک‌هایی با CBR پایین‌تر از ۵ درصد عموماً نیاز به اصلاح، تثبیت یا تعویض دارند. شرایط زهکشی، درصد رطوبت، تورم‌پذیری یا نشست‌پذیری خاک نیز در تعیین نوع طراحی و نیاز به لایه‌های محافظ (مثل فیلتر یا ژئوتکستایل) مؤثرند. عدم توجه کافی به این مرحله می‌تواند منجر به شکست زودهنگام روسازی شود.

د) انتخاب معیارهای طراحی از جمله قابلیت اطمینان و سطح عملکرد

در این مرحله، طراح باید سطح عملکرد مورد انتظار از روسازی را در طول دوره بهره‌برداری تعیین کند. این عملکرد بر حسب شاخص خدمت‌دهی (Serviceability Index) تعریف می‌شود که بین حالت اولیه (معمولاً ۴/۲) تا حداقل قابل قبول (مثلاً ۲/۵ برای راه‌های اصلی) تغییر می‌کند. همچنین میزان اعتماد طراحی یا «Reliability» تعیین می‌شود که برای راه‌های مهم در حدود ۹۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. این ضریب نشان‌دهنده احتمال موفقیت عملکرد روسازی در برابر متغیرهای غیرقابل پیش‌بینی است. انحراف استاندارد طراحی (S_o) نیز در این مرحله مشخص می‌شود که میزان پراکندگی داده‌های عملکرد را نشان می‌دهد. انتخاب این ضرایب تأثیر مستقیمی بر ضخامت نهایی لایه‌های روسازی دارد، به‌ویژه در روش‌هایی مانند AASHTO.

ه) استفاده از معادله طراحی روسازی (مثلاً 1993 AASHTO)

در روش AASHTO، پس از جمع‌آوری تمام داده‌های موردنیاز شامل ESAL، CBR یا MR، ضرایب اعتماد و شاخص‌های عملکرد، معادله طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا مقدار عدد سازه‌ای روسازی یا SN محاسبه شود. این مقدار نشان‌دهنده مقاومت کلی لازم روسازی برای تحمل بارگذاری مورد انتظار است. مقدار SN با حل عددی معادله تعیین می‌شود و به تنهایی بیانگر ضخامت نیست؛ بلکه باید در مرحله بعد به ضخامت واقعی لایه‌ها تبدیل گردد. روش‌های دیگر طراحی مانند MEPDG یا SHL نیز از اصول مشابهی پیروی می‌کنند ولی داده‌های دقیق‌تری مانند شبیه‌سازی عملکرد در طول زمان، تغییرات دما و بارگذاری تکراری را وارد فرآیند طراحی می‌کنند.

و) تخصیص SN به لایه‌های روسازی و تعیین ضخامت هر لایه

پس از تعیین مقدار SN موردنیاز، طراح باید این مقدار را به لایه‌های مختلف روسازی (شامل آسفالت، لایه اساس و زیر اساس) تخصیص دهد. این کار بر اساس ضرایب سازه‌ای هر لایه (a) انجام می‌شود. برای مثال، لایه آسفالتی معمولاً ضریب ۰/۴۴ دارد و مصالح اساس دانه‌ای حدود ۰/۱۴ با ضرب این ضرایب در ضخامت هر لایه و جمع آن‌ها، باید به SN طراحی برسیم. این مرحله باید با ملاحظات اجرایی همراه باشد؛ مثلاً ضخامت آسفالت نباید کمتر از ۷ سانتی‌متر باشد یا ضخامت زیر اساس نباید از حد معینی پایین‌تر بیاید. همچنین در برخی پروژه‌ها، از مصالح تثبیت‌شده (با سیمان یا آهک) برای کاهش ضخامت استفاده می‌شود.

ز) بررسی نهایی اجرایی، اقتصادی و اقلیمی طراحی انجام‌شده

آخرین مرحله، بررسی عملی بودن طراحی پیشنهادی از نظر اجرایی و اقتصادی است. گاهی اوقات یک طراحی کاملاً علمی ممکن است در اجرا با مشکل مواجه شود؛ مثلاً نبود مصالح با کیفیت در محل، محدودیت ماشین‌آلات، یا هزینه بالای تثبیت خاک. در چنین حالاتی طراح باید گزینه‌هایی مانند به‌کارگیری ژئوسنتتیک‌ها، کاهش دوره طراحی، یا اصلاح مسیر را مدنظر قرار دهد. همچنین تحلیل حساسیت روی پارامترهایی مانند CBR یا میزان ESAL می‌تواند به تصمیم‌گیری بهتر کمک کند. در نهایت، نقشه‌ها و مشخصات فنی اجرایی تنظیم و به پیمانکار ابلاغ می‌شود.

۵-۴- طراحی روسازی راه

طراحی روسازی در این بخش براساس یک پروژه واقعی انجام شده است.

۵-۴-۱- عوامل موثر در طرح روسازی

عوامل موثر در طرح روسازی راه‌های جدید و یا بازسازی کامل راه‌های قدیمی به شرح زیر می‌باشد:

- عمر روسازی

عمر روسازی شامل عمر طراحی و عمر بهره‌برداری است که هر کدام به شرح زیر می‌باشد:

- عمر طراحی

دوره یا عمر طراحی، مدت زمانی است که روسازی دچار خرابی‌های عمده نشود. در برخی از موارد، طرح و اجرای روسازی به صورت مرحله‌ای از لحاظ اقتصادی، بیشتر مقرون به صرفه است. معمولاً طراحی به گونه‌ای تعیین می‌شود که در طی این مدت، اجرای یک روکش برای آن پیش‌بینی شود. انتخاب این گزینه با در نظر گرفتن هزینه‌های نگهداری در دوران بهره‌برداری و هزینه‌های روکش بعدی صورت می‌گیرد. عمر طراحی برحسب اهمیت راه و میزان ترافیک محور براساس جدول (۱۱-۱) نشریه ۲۳۴ تعیین می‌شود. براساس جدول مذکور عمر طراحی برای این پروژه ۲۰ سال در نظر گرفته شده است.

نوع راه	عمر طراحی (سال)
بین شهری با ترافیک زیاد	۲۵ - ۲۰
بین شهری با ترافیک متوسط و کم	۲۵ - ۱۵

- عمر بهره‌برداری

عمر یا دوره بهره‌برداری، مدت زمانی است که روسازی اولیه بدون نیاز به روکش با کیفیت قابل قبول دوام آورد. زمان بین دو روکش را نیز عمر بهره‌برداری می‌نامند. در واقع این دوره شامل مدت زمانی است که روسازی از میزان خدمت دهی اولیه (P_i) به میزان خدمت‌دهی نهایی (P_t) برسد. عمر بهره‌برداری براساس تجربه‌های طراح و سیاست‌های کارفرما تعیین می‌شود و تابع نحوه و سیستم نگهداری راه است.

- تاثیر رطوبت

مقاومت خاک‌های ریزدانه و برخی خاک‌های درشت‌دانه با افزایش رطوبت و ایجاد شرایط اشباع کاهش می‌یابد. تاثیرات مخرب ناشی از افزایش رطوبت را می‌توان به کمک یکی از روش‌های معمولی نظیر اصلاح دانه‌بندی مصالح، استفاده از مصالح زهکش، بالا بردن رقوم روسازی، استفاده از مواد تثبیت کننده نظیر آهک، سیمان، قیر و سایر افزودنی‌های شیمیایی حذف کرد. اما طبق نشریه ۲۳۴ در هر صورت تراز آب زیرزمینی نباید از بستر روسازی راه، کمتر از ۱/۲ متر فاصله داشته باشد. در غیر این صورت باید سطح ایستابی را با حفر کانال‌های عمیق و نصب لوله‌های زهکشی و پرکردن روی آن با مصالح زهکشی پایین آورد.

- تاثیر یخبندان

اثرات یخبندان، شامل بالا آمدگی ناشی از یخبندان و کاهش باربری بستر روسازی در دوره ذوب-یخ می‌باشد. بالا آمدگی ناشی از یخبندان در فصل زمستان و ضعیف شدن خاک در طی فرآیند ذوب یخ در اوایل فصل بهار در کاهش دوام روسازی نقش تعیین کننده‌ای دارد. بالا آمدگی ناشی از یخبندان در روسازی و زیرسازی راه، هنگامی بروز می‌یابد که هر سه عامل زیر در یک پروژه رخ دهد:

- هوای سرد با دمای زیر صفر؛
- وجود خاک‌های حساس در مقابل یخبندان؛
- آب در دسترس (عمدتاً تراز آب زیرزمینی در عمق کمتر از سه متر).

۵-۴-۲- شاخص قابلیت خدمت دهی جاده

قابلیت خدمت دهی عبارت است از توان یک روسازی برای خدمت به ترافیکی که برای آن طرح شده است. میزان کاهش نشانه خدمت دهی (PSI) از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

مقدار P_0 طبق آزمایشات آشتو برای روسازی انعطاف‌پذیر ۴/۲ می‌باشد. انتخاب نشانه خدمت‌دهی نهایی (P_t) بر پایه کمترین نشانه خدمت قابل قبول قبل از بازسازی یا روکش استوار است. طبق نشریه ۲۳۴، مقدار این پارامتر برای آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها قبل از بازسازی یا روکش، برابر ۳، برای راه‌های اصلی، برابر ۲/۵ و برای راه‌های فرعی، برابر ۲ تعیین می‌شود که برای این پروژه برابر ۲/۵ در نظر گرفته شده است. بنابراین مقدار PSI برابر خواهد بود با:

$$\Delta PSI = P_0 - P_t = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

۵-۴-۳- حجم ترافیک و نوع وسایل نقلیه

حجم ترافیک، عبارت از تعداد کل وسایل نقلیه‌ای است که از یک مقطع مشخص راه در زمان معینی عبور می‌نماید و به دو روش بصری و مکانیکی آمارگیری می‌شود. دوره‌های زمانی معمول برای شمارش تعداد ترافیک، سالیانه، روزانه یا ساعتی است. معمولاً در محاسبه طرح روسازی، متوسط ترافیک روزانه سالیانه (AADT) یا متوسط ترافیک روزانه (ADT) مبنا قرار می‌گیرد. آمار ترافیک در جدول (۵-۱) نشان داده شده است.

جدول ۵-۱- مجموع ترافیک

کلاس ۵		کلاس ۴	کلاس ۳		کلاس ۲		کلاس ۱		نوع وسیله نقلیه
تریلر ۵ محور	تریلر ۴ محور	اتوبوس	کامیون سه محور	کامیون دو محور سنگین	مینی بوس	کامیون دو محور سبک	وانت	سواری	
113,989	113,989	19,800	55,397	36,931	28,810	43,216	245,778	983,114	1400
116,998	116,998	20,037	60,273	40,182	41,733	62,600	310,899	1,243,596	1401
142,495	142,495	20,276	65,578	43,719	49,692	74,538	378,732	1,514,930	1402
127,642	127,642	12,282	45,565	30,377	44,481	66,722	372,765	1,491,059	1403

۵-۴-۴- رشد سالانه انواع وسایل نقلیه

نرخ رشد وسایل نقلیه در دوره طرح براساس رشد ترافیک در دوره‌های گذشته و با در نظر گرفتن اثرات ناشی از توسعه‌های آتی و میزان ترافیک جذب شده از مناطق مجاور، به طور مجزا برای گروه‌های مختلف ترافیک از قبیل سبک و سنگین و یا باری و مسافری تعیین می‌گردد.

برای تعیین نرخ رشد سالیانه ترافیک با استفاده از آمارهای موجود، از روش رگرسیون استفاده می‌شود. در این روش، پس از ترسیم نمودار لگاریتم تعداد وسیله نقلیه نسبت به زمان (برحسب سال)، بهترین خط برازش (ضریب همبستگی حداقل ۰/۸) مشخص و با استفاده از رابطه زیر، مقدار نرخ رشد سالیانه ترافیک (r) محاسبه می‌شود:

$$T_n = T_0(1+r)^n$$

$$\log T_n = \log T_0 + n \log(1+r)$$

$$\log T_0 = Y_0, \log T_n = Y$$

$$A = \log(1+r)$$

$$Y = Y_0 + An$$

$$r = 10^{A-1}$$

در این روابط، Y لگاریتم حجم ترافیک، n زمان برحسب تعداد سال، A شیب خط برازش و r نرخ رشد سالیانه ترافیک است. با در دست داشتن میزان ترافیک در سال اول بهره‌برداری طرح و ضرایب رشد سالانه وسایل نقلیه، میزان ترافیک در سال‌های آتی از رابطه فوق محاسبه می‌شود. جهت محاسبه نرخ رشد سالیانه ترافیک، باید شیب خط برازش از رشد ترافیک را محاسبه نمود که برای این کار از نرم افزار اکسل استفاده شده می‌شود. با استناد به بررسی محور به لحاظ عبور کلاس‌های مختلف ترافیک، ضرایبی در نظر گرفته شد که به شرح جداول زیر است.

جدول ۵-۲- ضرایب رشد ترافیک برای محور

سوار	وانت	کامیون دو محور سبک	مینی بوس	کامیون دو محور سنگین	کامیون سه محور	اتوبوس	تریلر ۴ محور	تریلر ۵ محور
۴۷.۵	۴۷.۵	۴۷.۵	۴۷.۵	۴۱.۲	۴۱.۲	۴۱.۲	۴۱.۲	۴۱.۲
۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰

۵-۴-۵- محور هم ارز

در نشریه ۲۳۴ اثرات ترافیک با استفاده از روش محور هم ارز در طرح روسازی لحاظ می‌شود. به طوریکه کل ترافیک عبوری از راه در دوره طرح با تعداد معینی از یک محور استاندارد با مشخصات و وزن معین (محور مبنای طرح)، جایگزین شده و اثر تعداد معادل محور مبنا (EAL) در طراحی منظور می‌شود. معمولاً محور منفرد با وزن ۸/۲ تن (۸۰ کیلو نیوتن)

به عنوان محور مبنا در نظر گرفته می‌شود. برای تبدیل انواع مختلف محورها مانند محور منفرد، تاندم یا تریدم به محور مبنا، باید از ضریب بار محور هم ارز (EALF) حاصل از روش‌های نظری یا تجربی استفاده شود. در روش تجربی با مقایسه خرابی حاصل از عبور محور مورد نظر با خرابی ایجاد شده توسط محور مبنا که معمولاً محور ۸/۲ تنی می باشد، معادل سازی انجام می‌گردد. ضریب بار محور هم ارز، بستگی به نوع روسازی و مدل خرابی روسازی، ظرفیت سازه‌ای، ضخامت لایه‌ها و نشانه خدمت‌دهی نهایی دارد.

۵-۴-۶- محاسبه تعداد کل محور هم ارز عبوری در دوره طرح

- تعیین ضریب رشد ترافیک
با در دست داشتن نرخ رشد سالانه ترافیک و دوره طرح روسازی بر حسب سال، ضرایب رشد ترافیک برای دوره‌های مختلف طرح از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{ضریب رشد ترافیک} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

که در این رابطه r نرخ رشد سالیانه ترافیک و n دوره طرح بر حسب سال است که در این پروژه دوره طرح ۲۰ ساله در نظر گرفته شده است.

تعداد کل محور استاندارد عبوری در n سال دوره طرح از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$ESAL_n = EAL \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

که در این رابطه $ESAL_n$ تعداد کل ترافیک (یا محور هم ارز) در n سال دوره طرح و EAL تعداد کل ترافیک (یا محور استاندارد در سال اول طرح) است.

- توزیع ترافیک در خط طرح
تعداد ترافیک یا تعداد محورهای استاندارد عبوری از خطر طرح از رابطه به دست می‌آید:

$$W = D_D * D_L * ESAL_n$$

که در این رابطه W تعداد کل محورهای استاندارد که در دوره طرح از خط طرح عبور می‌کند، D_D ضریب توزیع ترافیک در هر جهت، D_L ضریب توزیع ترافیک در خط طرح و $ESAL_n$ تعداد کل محورهای استاندارد عبوری در n سال دوره طرح است.

جدول ۵-۳- ضریب بار هم ارز محور

محور	سواری	وانت	کامیون دو محور سبک	مینی بوس	کامیون دو محور سنگین	کامیون سه محور	اتوبوس	تریلر ۴ محور	تریلر ۵ محور
۱	۰.۰۰۰۳۸	۰.۰۰۰۳۸	۰.۲۷۸۹۰	۰.۰۱۵۷۰	۰.۲۷۸۹	۰.۲۷۸۹۰	۰.۰۱۵۷۰	۰.۲۷۸۹	۰.۲۷۸۹
۲	۰.۰۰۰۳۸	۰.۰۰۳۴۳	۱.۵۰۷۳۰	۰.۰۱۵۷۰	۴.۸۲۵	۳.۱۹۱۵۰	۰.۲۷۸۹۰	۲.۳۲۴	۲.۳۲۴
۳								۱.۲۷۲	۱.۵۲۵
مجموع	۰.۰۰۰۷۶	۰.۰۰۳۸۱	۱.۷۸۶۲۰	۰.۰۳۱۴۰	۵.۱۰۳۹۰	۳.۴۷۰۴۰	۰.۲۹۴۶۰	۳.۸۷۴۹۰	۴.۱۲۷۹۰

جدول ۵-۴- محاسبات بار هم ارز ۲۰ ساله

[illegible]

۵-۴-۷- مشخصات فنی لایه‌های روسازی

سه نوع مصالح برای روسازی جاده در نظر گرفته شده است، که ضریب عکس العمل برای هر یک از مصالح براساس نتایج آزمایشگاهی و توصیه نشریه ۲۳۴ به صورت زیر می‌باشد:

برای مصالح آسفالت قیری حداقل مقاومت مارشال ۸۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است که ضریب ارتجاعی معادل آن ۳۱۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

برای مصالح اساس حداقل سی‌بی‌آر طرح برابر ۸۰ درصد بوده که ضریب ارتجاعی معادل آن ۲۱۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

برای مصالح زیراساس معمولی حداقل سی‌بی‌آر طرح برابر ۳۰ درصد و برای زیراساس تثبیت شده با آهک مطابق شیت‌های آزمایشگاهی برابر ۴۵ درصد بوده که ضریب ارتجاعی معادل آن ۱۰۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

۵-۴-۸- محاسبه ضخامت روسازی

مقدار ضخامت روسازی را می‌توان از نمودار ارائه شده در آیین نامه آشتو و یا رابطه زیر محاسبه نمود:

$$\log(W_{18}) = (Z_R \cdot S_0) + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \cdot \log(M_R) - 8.07$$

برای استفاده از این رابطه شرایط زیر در نظر گرفته شده است:

ضریب قابلیت اطمینان Z_R برحسب طبقه بندی از لحاظ نوع استفاده و نیز محل احداث آن (شهری یا روستایی) انتخاب می‌گردد. برای جاده مورد نظر این پروژه استاندارد AASHTO عددی بین ۰/۸ تا ۰/۹۹ پیشنهاد شده که در این محاسبات، این عدد براساس نشریه ۲۳۴، ۹۵٪ در نظر گرفته شده است.

برای درصد اطمینان مشخص، ضریب قابلیت اطمینان تابعی از واریانس و انحراف معیار عمومی (S_0) بوده که براساس توصیه نشریه ۲۳۴، ۳۵٪ در نظر گرفته شده است. ضریب ارتجاعی موثر بستر (M_R) را می‌توان بر اساس نتایج آزمایشات CBR برآورد نمود. نمونه گیری برای این آزمایش باید حداقل معرف شصت سانتیمتر از خاک لایه های بستر روسازی و لایه زیرین آن باشد. در شرایط وجود خاک های ناهمگن، کمترین ضریب برجهندگی خاک یا سی بی آر، ملاک طراحی قرار می گیرد. نظر به اینکه بستر جاده موجود، بستر تثبیت شده با آهک است، باتوجه به شیت های آزمایشگاهی انجام شده از جاده موجود، CBR بستر برابر ۳۳ در نظر گرفته شده که نتایج محاسبات مدول برجهندگی در جدول (۵-۵) ارائه شده است:

جدول ۵-۵- ضریب ارتجاعی خاک بستر

۳۳	CBR
۲۰۹۴۷	Mr
۱۴۶۶	Mr(kg/cm ²)

برای محاسبه ضریب برجهندگی موثر خاک بستر، ابتدا سال به ماه‌ها و فواصل زمانی که مقادیر ضریب برجهندگی خاک بستر در آن‌ها متفاوت است، تقسیم‌بندی می‌شود، سپس مقدار ضریب برجهندگی برای هر فاصله زمانی تعیین می‌شود. تقسیم بندی فاصله زمانی در پروژه حاضر یک ماه است. تخمین میزان خرابی نسبی (U_f) مربوط به مقادیر ضریب برجهندگی در فصول مختلف مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U_f = 2.47 \cdot 10^5 M_r^{-2.32}$$

در هر قطعه طرح از بین اعداد مختلف به دست آمده از آزمایش تعیین ضریب برجهندگی یا تبدیل هر یک از سی‌بی‌آرها به ضریب برجهندگی‌ها، عددی به عنوان ضریب برجهندگی طرح انتخاب شده که میانگین حسابی نمونه‌های آزمایش شده در قطعه طرح می‌باشد.

جهت محاسبه مدول برجهندگی طرح، کلیه مقادیر U_f را با هم جمع و بر تعداد واحد زمانی مورد استفاده تقسیم کرد که بدین ترتیب متوسط میزان خرابی نسبی محاسبه می‌شود. ضریب برجهندگی موثر خاک بستر (M_R)، مقدار نظیر متوسط میزان خرابی نسبی است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$M_R = 210.9 \cdot U_f^{-0.431}$$

محاسبه مدول برجهندگی موثر خاک بستر براساس خرابی نسبی در جدول (۵-۶) ارائه شده است:

جدول ۵-۶- مدول برجهندگی موثر خاک بستر براساس خرابی نسبی

ماه	ضریب برجهندگی خاک بستر	خرابی نسبی
فروردین	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
اردیبهشت	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
خرداد	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
تیر	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
مرداد	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
شهریور	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
مهر	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
آبان	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
آذر	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
دی	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
بهمن	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
اسفند	۱۴۶۶	۰.۰۱۱۱
میانگین	۱۴۶۵	۰.۰۱۱۱

پس مدول برجهندگی موثر خاک بستر برابر ۱۴۶۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست می آید.

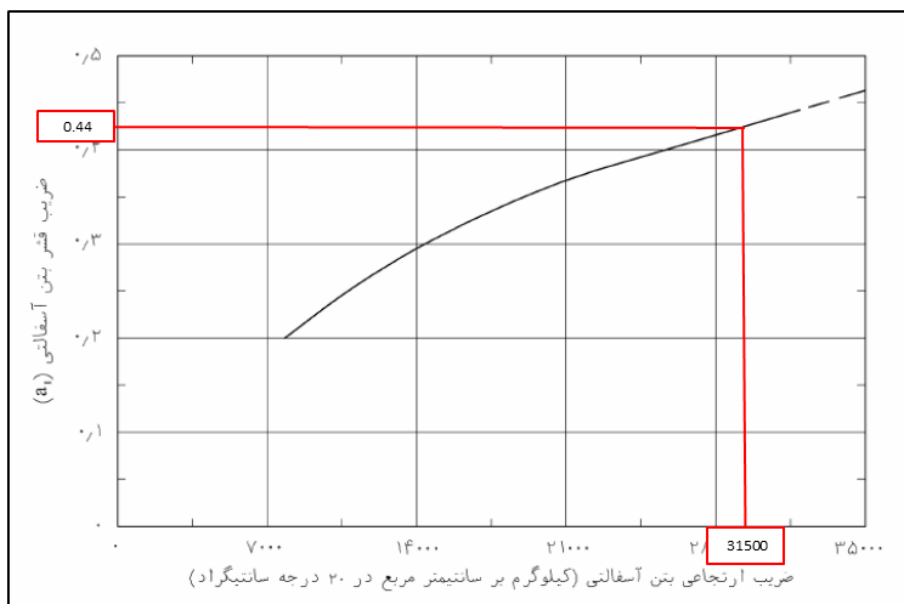
۵-۴-۹- ضرایب لایه ها

ضریب ثابت ساختار لایه ها (a_i) با توجه به مقادیر ضریب عکس العمل تعیین می شود. ضریب a_1 براساس نمودار ارائه شده در شکل (۵-۱) (۱۱-۳ نشریه ۲۳۴) تابع مدول الاستیسته لایه آسفالتی است. مدول الاستیسته لایه بتن آسفالتی شامل آستر و وریه در ۲۰ درجه سلسیوس حداکثر ۳۱۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تعیین شده است. بر این اساس ضریب a_1 معادل ۰/۴۴ می باشد.

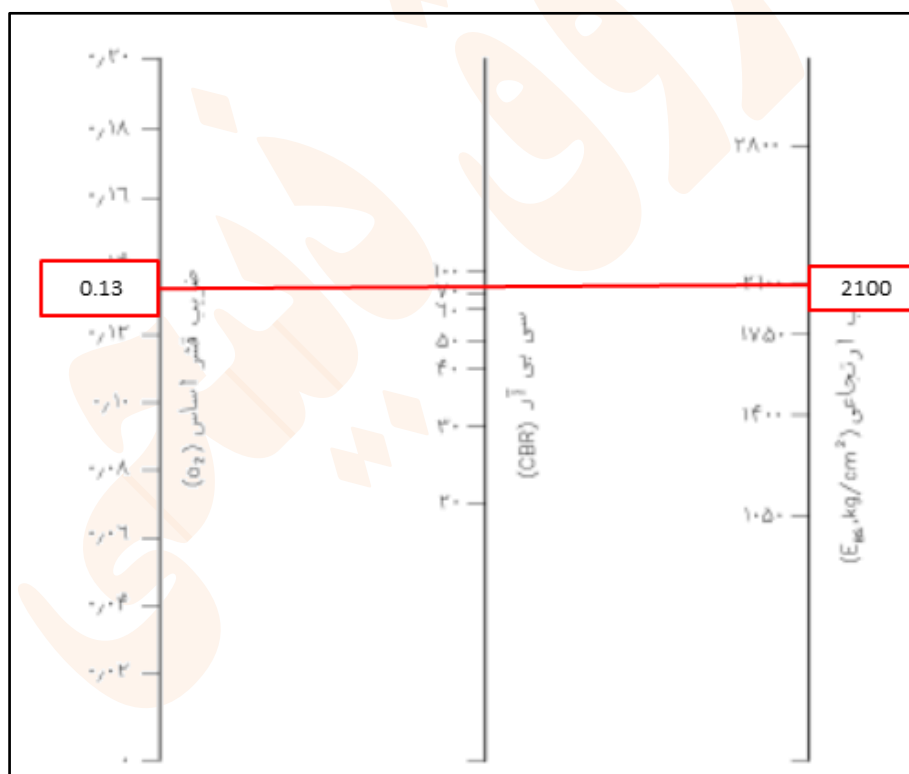
ضریب ثابت لایه اساس با مصالح دانه ای (a_2) را می توان مطابق توصیه آشتو براساس شکل (۵-۲) برآورد کرد. منحنی مذکور براساس آزمایش های آشتو روی اساس های دانه ای استخراج شده است.

ضریب ثابت لایه زیراساس با مصالح دانه ای (a_3) را می توان مطابق توصیه آشتو براساس شکل (۵-۳) برآورد کرد. منحنی مذکور براساس آزمایشات آشتو روی زیراساس های دانه ای استخراج شده است.

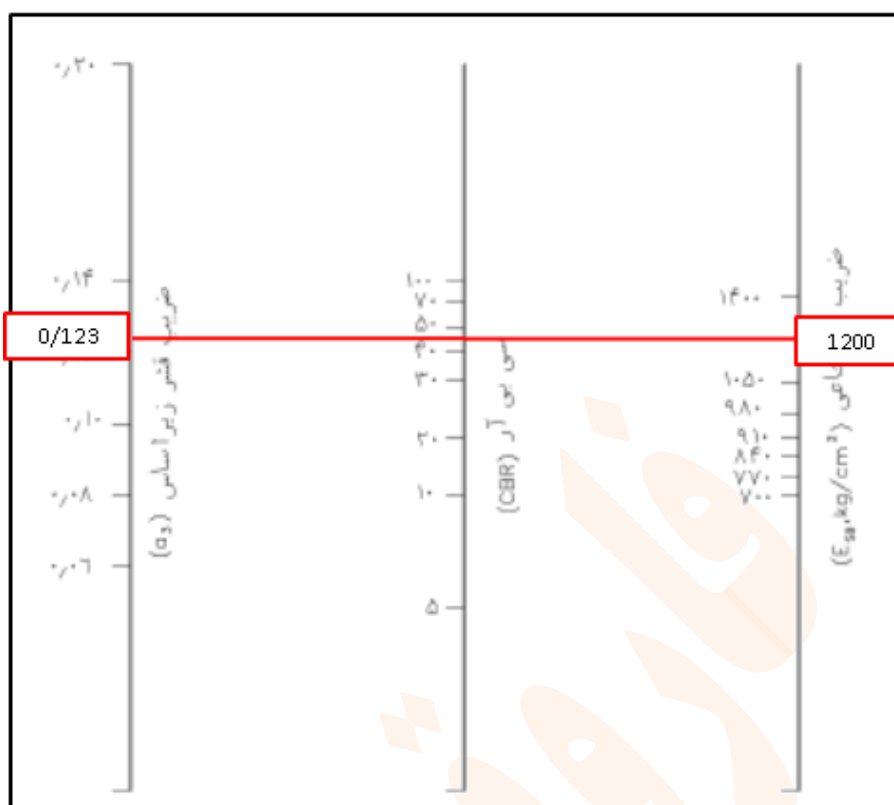
براساس شیت های آزمایشگاهی، سی بی آر مصالح تثبیت شده زیراساس از ۳۰ به ۴۵ افزایش پیدا کرده است.



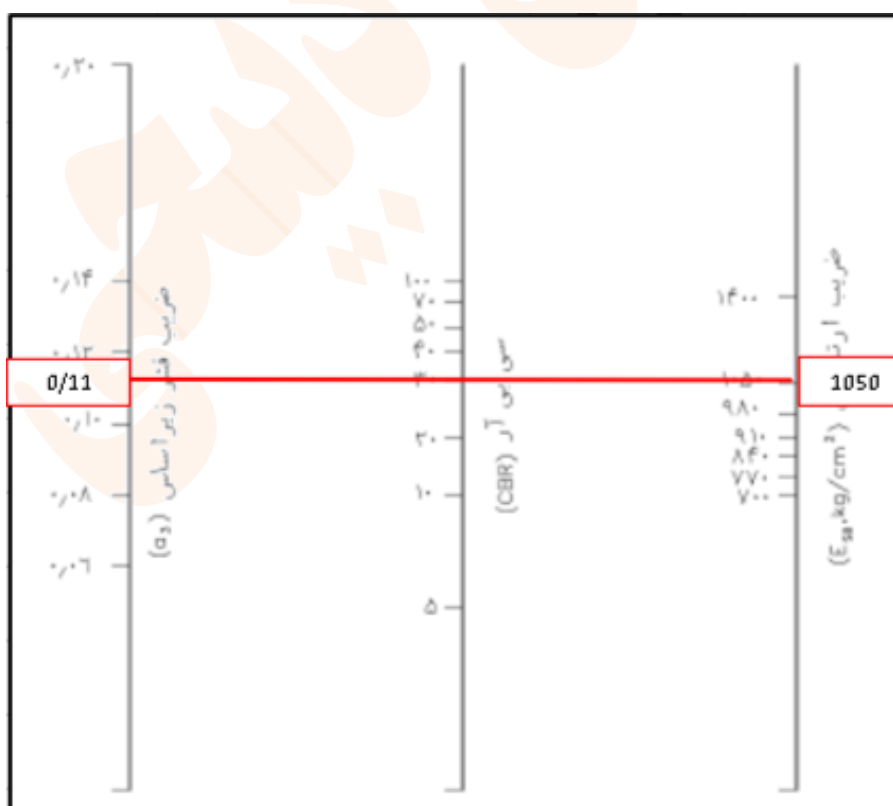
شکل ۵-۱- مقدار ضریب a_1 بر حسب مدول الاستیسته بستر آسفالتی



شکل ۵-۲- تغییرات ضریب ثابت a_2 با توجه به پارامترهای مقاومتی لایه اساس



شکل ۵-۳- تغییرات ضریب ثابت a_3 با توجه به پارامترهای مقاومتی لایه زیراساس تثبیت شده



شکل ۵-۴- تغییرات ضریب ثابت a_3 با توجه به پارامترهای مقاومتی لایه زیراساس معمولی

با توجه به شکل‌های فوق و نتایج CBR اساس و زیراساس خلاصه نتیجه ضرایب ثابت لایه‌های روسازی به صورت زیر می‌باشد:

آسفالت: $a_1 = 0.43$

اساس شکسته: $a_2 = 0.13$

زیراساس تثبیت شده: $a_3 = 0.123$

زیراساس معمولی: $a_3 = 0.11$

۵-۴-۱۰- ضریب زهکشی

زهکشی نامناسب و حضور آب اضافی در لایه‌های اساس و زیراساس، ضریب ارتجاعی این مصالح یعنی ESB و EBS را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد. کیفیت زهکشی در نشریه ۲۳۴ برای مصالح غیرآسفالتی روسازی (زیراساس و اساس تثبیت نشده) برحسب مدت زمانی تعریف می‌شود که طی آن ۵۰ درصد آب آزاد این مصالح، زهکشی و تخلیه می‌شود. جهت کیفیت زهکشی مصالح از نظر خاصیت، کیفیت آن‌ها خوب در نظر گرفته شده است. طبق جدول (۱۱-۵) نشریه ۲۳۴ برای کیفیت زهکشی خوب و منطقه خشک، ضرایب زهکشی لایه‌های اساس و زیراساس به ترتیب برابر ۱ و ۹/۰ فرض شده است. بنابر محاسبات و توضیحات فوق، خلاصه داده‌های طراحی در جداول زیر ارائه شده است:

جدول ۵-۷- داده‌های طرح روسازی برای ترافیک ۲۰ ساله

68,456,424	W8/2	ترافیک محور استاندارد
80	R	سطح قابلیت اطمینان
-1.16	ZR	انحراف معیار نرمال
1465	MR	ضریب برجهندگی
0.35	S0	انحراف معیار کلی
4.20	P0	نشانه خدمت دهی اولیه
2.50	Pt	نشانه خدمت دهی نهایی
1.70	Delta	افت نشانه خدمت دهی
0.117	a3	ضریب لایه زیراساس
0.130	a2	ضریب لایه اساس
0.44	a1	ضریب لایه آسفالت
0.90	m3	ضریب زهکشی زیراساس
1.00	m2	ضریب زهکشی اساس

۵-۴-۱۱- محاسبه ضخامت لایه‌ها

بعد از اینکه ضخامت برای روسازی اولیه بدست آمد، لازم است ضخامت لایه‌های مختلف روسازی به نحوی انتخاب شوند که مجموعاً توان تحمل بار نظیر عدد ضخامت را داشته باشند. با دانستن ضخامت لایه‌ها رابطه زیر برای محاسبه عدد سازه‌ای روسازی به کار می‌رود:

$$SN = \frac{1}{2.5} (a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3)$$

که در آن:

a_1, a_2, a_3 به ترتیب ضرایب لایه‌های رویه، اساس و زیراساس

D_1, D_2, D_3 به ترتیب ضخامت لایه‌های رویه آسفالتی، اساس و زیراساس بر حسب سانتی‌متر

و m_2 و m_3 به ترتیب ضرایب زهکشی برای اساس و زیراساس هستند.

نکته‌ی حائز اهمیت این است که ضخامت هر یک از سه قشر روسازی یک حداقل اجرایی دارند که طبق جدول (۵-۸) بایستی رعایت شود.

جدول ۵-۸- حداقل ضخامت لایه‌های اساس و آسفالت طبق توصیه نشریه ۲۳۴

ترافیک برحسب بارهای محور ساده ۸/۲ تنی هم ارز	حداقل ضخامت لایه بتن آسفالتی (سانتی‌متر)	حداقل ضخامت لایه اساس سنگدانه‌ای (سانتی‌متر)
کمتر از ۱۵۰۰۰	آسفالت سطحی دولایه‌ای	۱۰
۱۵۰۰۰-۵۰۰۰۰	۶	۱۰
۵۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰	۸	۱۵
۲۰۰۰۰۰-۷۰۰۰۰۰	۹	۱۵
بیشتر از ۷۰۰۰۰۰	۱۰	۱۵

با توجه به محدودیت ضخامت لایه آسفالت و اساس سنگدانه‌ای طبق جدول فوق و فرض ضخامت اولیه برای لایه زیراساس، به صورت سعی و خطا، مقدار عدد سازه‌ای به دست آمده را به عدد سازه‌ای فرض شده قبل که جهت محاسبه ضریب محور در نظر گرفته شد، ضخامت‌های نهایی محاسبه می‌گردد. جهت کنترل صحیح بودن ضخامت لایه‌های فرض شده، اولاً عدد سازه‌ای محاسبه شده باید بیشتر از عدد فرضی بوده ثانیاً اختلاف عدد سازه‌ای فرض شده و محاسبه شده جدید، هرچه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، محاسبه از صحت بیشتری برخوردار بوده و اقتصادی‌تر می‌باشد. محاسبات ضخامت لایه‌های روسازی در جدول (۵-۹) ارائه شده است.

جدول ۵-۹- ضخامت لایه های روسازی

نوع لایه	ضخامت محاسبه شده (cm)
قشر آسفالت	۱۴
لایه اساس	۱۵
لایه زیراساس تثبیت شده	۳۰ (۱۵ تثبیت شده + ۱۵ معمولی)
عدد سازه‌ای مورد نیاز	۴/۴۰
عدد سازه‌ای محاسبه شده	۴/۴۱

فصل ششم

خرابی‌های روسازی

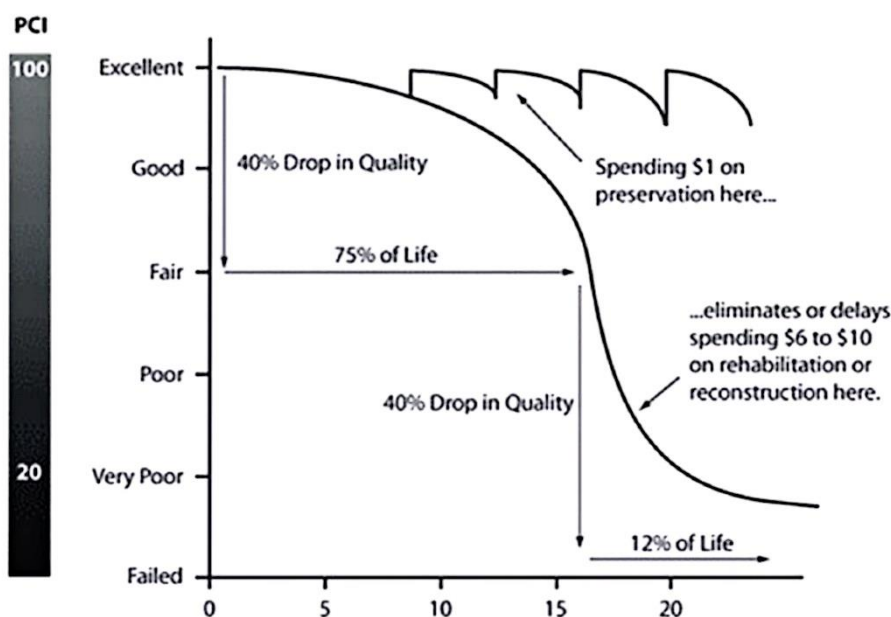
فصل ششم

۶-۱- مقدمه

روسازی ها سرمایه ملی کشور ها محسوب می شوند که سالیانه بخش عمده ای از بودجه عمرانی سازمان های ذیربط صرف ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری آنها می شود. تامین اعتبار کافی برای این منظور چالشی است که مدیران عالی (تصمیم گیران) همواره با آن مواجه و دست به گریبان بوده اند.

در گذشته فقط به نگهداری روسازی توجه می شد و مدیریت روسازی ها امری ناشناخته بود. عامل تعیین کننده در انتخاب روش ترمیم و نگهداری مناسب، تجربه مهندسین بود، در عین حال که توجه چندانی به هزینه های چرخه عمر و یا به اولویت بندی براساس ضرورت در سطح شبکه معطوف نمیگردید. یک سیستم مدیریت روسازی (PMS) روشی سیستماتیک و منسجم را برای انتخاب ضروریات ترمیم و نگهداری و تعیین اولویت ها و زمان بهینه برای تعمیرات از طریق پیش بینی وضعیت روسازی در آینده در اختیار میگذارد. شکل (۶-۱) پیامد های یک زمان بندی نادرست را در نگهداری نشان می دهد.

در صورتی که ترمیم و نگهداری در مراحل نخستین اضمحلال و قبل از زوال ناگهانی وضعیت روسازی انجام شود، بیش از ۵۰ درصد از هزینه های تعمیرات صرفه جویی خواهد شد. به همین دلیل نیاز است که برای جلوگیری از آسیب های جدی به روسازی و به تبع آن عدم پرداخت هزینه های زیاد برای تعمیر آن در سطح شهر و جاده های بین شهری، مهندسان به بررسی وضعیت روسازی ها بپردازند. بعد از بررسی و تعیین وضعیت روسازی که نیاز به شناخت روش های بررسی و درجه بندی و تمایز بین خرابی ها دارد، با استفاده از منحنی های ضریب کاهندگی وضعیت واقعی روسازی ها را مشخص و برای تعمیر و اختصاص بودجه به آنها برنامه ریزی های دقیق صورت می پذیرد. حال به بررسی هریک از موارد مذکور پرداخته می شود.



شکل ۶-۱- نمودار کاهش کیفیت روسازی در طول زمان

۶-۲- روش‌های بررسی و درجه‌بندی وضعیت خرابی روسازی

یکی از ویژگی‌های مهم سیستم مدیریت روسازی (PMS) آن است که هم توانایی تعیین وضعیت موجود شبکه روسازی را دارد و هم قادر است وضعیت آتی آن را پیش‌بینی نماید. برای آنکه بتوان وضعیت روسازی را به نحو قابل اعتمادی پیش‌بینی کرد، می‌بایست از یک سیستم درجه‌بندی برای شناسایی وضعیت روسازی استفاده شود. روشی که در اینجا به منظور درجه‌بندی وضعیت خرابی روسازی‌ها ارائه می‌شود، همان روش نشانه وضعیت روسازی (PCI) است. PCI یک نشانه عددی است که مقدار آن از صفر برای یک روسازی غیر قابل استفاده تا ۱۰۰ برای یک روسازی کاملاً بی‌عیب و نقص تغییر می‌کند. محاسبه PCI بر اساس نتایج یک بررسی چشمی صورت می‌گیرد که در آن نوع، شدت و میزان خرابی مشخص می‌شود.

درجه اضمحلال روسازی تابعی از نوع، شدت، میزان و تراکم خرابی است. به دلیل تعداد زیاد وضعیت‌های ممکن، بدست آوردن نشانه‌ای که هر ۳ عامل را به طور همزمان لحاظ نماید بسیار مشکل خواهد بود. برای غلبه بر این مشکل "ضریب کاهندگی" به عنوان نوعی ضریب وزنی که میزان تاثیر هر یک از ترکیبات نوع و سطح شدت خرابی و تراکم آن را بر وضعیت روسازی نشان می‌دهند، پیشنهاد شده‌اند.

۶-۳- روش‌های اجرای بررسی وضعیت

برای ارزیابی شاخص وضعیت روسازی (PCI)، روش‌های بررسی بسته به نوع روسازی متفاوت است. در مورد روسازی‌هایی که دارای رویه آسفالتی، قطرانی یا آسفالت بر روی بتن هستند، بررسی وضعیت شامل شناسایی و ارزیابی نوع و شدت خرابی‌های سطحی است. این ارزیابی به منظور تعیین شاخص PCI، به طور دقیق و سیستماتیک انجام می‌گیرد. برای اجرای این بررسی، تجهیزات ساده‌ای مانند مسافت‌سنج دستی جهت اندازه‌گیری طول و مساحت خرابی‌ها، گونیا و خط‌کش برای تعیین عمق شیارها یا فرورفتگی‌ها، و همچنین کتابچه راهنمای PCI برای تشخیص نوع خرابی‌ها مورد نیاز است. فرآیند بازرسی به این صورت انجام می‌شود که در هر واحد نمونه، خرابی‌ها بر اساس نوع و شدت‌شان ثبت شده و اطلاعات در پرسشنامه مخصوص روسازی انعطاف‌پذیر وارد می‌گردد. برای هر واحد نمونه، باید پرسشنامه مجزایی تکمیل شود تا دقت ارزیابی حفظ گردد.

۶-۴- انواع خرابی‌ها

براساس نظریه شاهین، خرابی‌های روسازی به ۱۹ نوع اصلی تقسیم می‌شوند:



۵-۶- تعریف خرابی ها

۵-۶-۱- برآمدگی و فرورفتگی

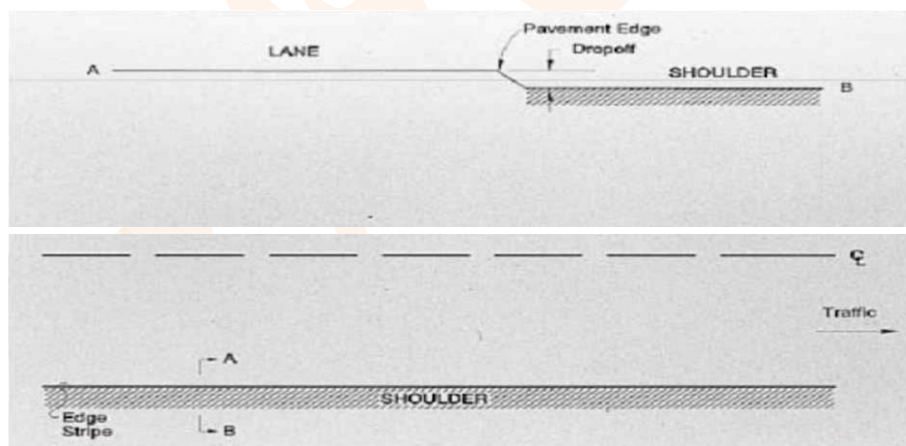
برآمدگی ها و فرورفتگی ها از جمله خرابی های سطحی رایج در روسازی آسفالتی هستند که نشان دهنده تغییر شکل های موضعی سطح روسازی می باشند. برآمدگی به صورت جابجایی های محدود و کوچک به سمت بالای سطح روسازی تعریف می شود، در حالی که فرورفتگی به جابجایی ناگهانی و کوچک سطح به سمت پایین اطلاق می گردد. این تغییر شکل ها معمولاً در واکنش به عوامل محیطی یا بارگذاری مکرر وسایل نقلیه پدید می آیند. از مهم ترین دلایل بروز این خرابی ها می توان به تورم ناشی از یخبندان در اثر انبساط آب در لایه های پایین تر و نیز نفوذ مواد ریزدانه یا آب به داخل ترک ها و تجمع آن ها در حضور بارگذاری ترافیکی اشاره کرد. در برخی موارد، اگر برآمدگی ها در فواصل کمتر از سه متر و عمود بر مسیر عبور ایجاد شوند، نوع خاصی از خرابی موسوم به موج تلقی می گردند که خود نشانه ای از مشکل پایداری یا سازه ای در روسازی است.

برای اندازه گیری این خرابی ها، معمولاً از معیار طول ترک یا ناحیه آسیب دیده به صورت متر استفاده می شود. در صورتی که در محل برآمدگی ترک هایی نیز مشاهده گردد، لازم است آن ترک ها به طور جداگانه نیز اندازه گیری و تحلیل شوند. راهکارهای تعمیر و نگهداری بسته به شدت خرابی متفاوت است. در خرابی های با شدت ضعیف، معمولاً نیازی به اقدام فوری نیست؛ اما در شدت های متوسط، استفاده از وصله های کم عمق یا نیمه عمقی توصیه می شود. در موارد شدید، بسته به شرایط، از وصله های عمیق، آسیاب سرد یا روکش مجدد آسفالت به عنوان راه حل های فنی استفاده می شود تا عملکرد طولانی مدت روسازی حفظ گردد.

۶-۵-۲- پایین افتادگی شانه

پایین افتادگی شانه یکی از خرابی‌های موضعی و مهم در حاشیه روسازی آسفالتی است که به صورت اختلاف ارتفاع قابل توجه بین لبه روسازی و سطح شانه تعریف می‌شود. این پدیده، اگرچه ممکن است مستقیماً به کیفیت سازه روسازی آسیبی وارد نکند، اما تأثیر قابل توجهی بر ایمنی عبور و مرور، خصوصاً هنگام خروج یا بازگشت وسایل نقلیه به مسیر اصلی دارد. پایین افتادگی معمولاً به دلایل مختلفی مانند فرسایش سطحی شانه در اثر جریان آب‌های سطحی، ترافیک جانبی یا بادبردگی ذرات و نیز نشست موضعی مصالح زیر شانه در اثر ضعف زیرسازی یا زهکشی ناکافی رخ می‌دهد. این خرابی بیشتر در مسیرهای روستایی، حاشیه راه‌های اصلی یا مناطقی با شیب عرضی نامناسب دیده می‌شود و در صورت بی‌توجهی می‌تواند موجب تشدید آسیب در کناره‌های روسازی گردد.

برای ارزیابی این خرابی، اندازه‌گیری آن به صورت طول خرابی برحسب متر انجام می‌شود. برخلاف برخی دیگر از خرابی‌ها که شدت آن‌ها بر اساس عمق یا وسعت مشخص می‌شود، در اینجا معیار اصلی هم‌سطح نبودن شانه با مسیر عبور اصلی است. از نظر نگهداری و تعمیر، فارغ از شدت خرابی، راهکار رایج و موثر برای رفع پایین افتادگی شانه، تسطیح مجدد و پر کردن آن تا تراز خط عبوری سواره‌رو است. این کار با استفاده از مصالح مناسب و کوبش لایه‌ای انجام می‌شود تا پایداری طولانی‌مدت و عملکرد هیدرولیکی شانه حفظ گردد.



۶-۵-۳- ترک خوردگی انعکاسی درز

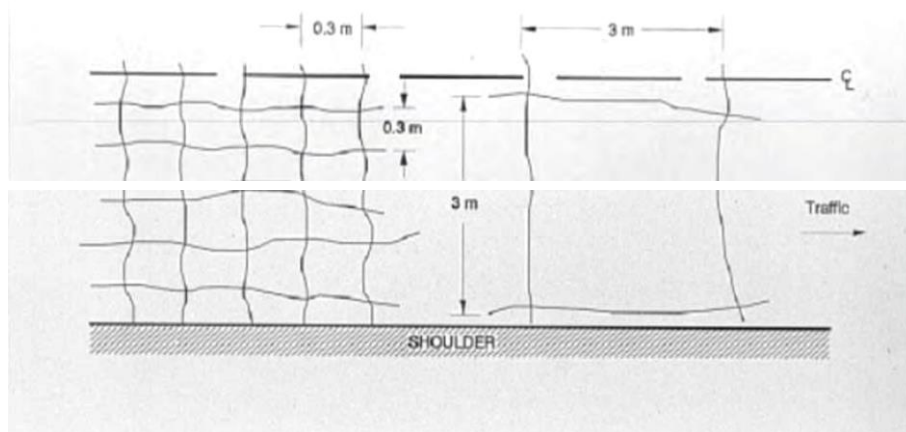
ترک خوردگی انعکاسی درز یکی از انواع خرابی‌های خاص در روسازی‌های آسفالتی است که زمانی بروز می‌کند که رویه آسفالتی بر روی دال‌های بتنی موجود اجرا شده باشد. این نوع ترک برخلاف ترک‌های ناشی از بارگذاری، عمدتاً به دلیل حرکات ناشی از تغییرات حرارتی یا رطوبتی در دال‌های بتنی زیرین ایجاد می‌شود. در واقع، زمانی که بتن در زیر لایه آسفالتی منبسط یا منقبض می‌شود، این حرکات به لایه آسفالتی منتقل شده و منجر به تشکیل ترک‌هایی در محل

درزهای بتن می‌گردد. این پدیده تنها مختص روسازی‌هایی است که دارای لایه زیرین بتنی هستند و در سایر ساختارهای پایه مانند لایه‌های تثبیت‌شده با آهک یا سیمان دیده نمی‌شود. برای ارزیابی این نوع خرابی، طول ترک‌های انعکاسی معمولاً به صورت متر اندازه‌گیری می‌شود. برنامه‌های تعمیر و نگهداری بسته به شدت خرابی متفاوت‌اند. در موارد با شدت کم، پر کردن ترک‌ها کافی است. اگر شدت ترک در سطح متوسط باشد، می‌توان از پر کردن ترک یا وصله‌های پاره عمقی استفاده کرد. در شرایط شدید، لازم است اقدام به وصله پاره عمقی یا حتی بازسازی کامل درز نمود تا از گسترش خرابی جلوگیری شود و عملکرد روسازی حفظ گردد.

۶-۵-۴- ترک خوردگی بلوکی

ترک خوردگی بلوکی یکی از انواع خرابی‌های غیرسازه‌ای در روسازی آسفالتی است که به صورت شبکه‌ای از ترک‌های به هم پیوسته ظاهر می‌شود و سطح روسازی را به قطعات تقریباً مستطیل شکل تقسیم می‌کند. این نوع ترک‌ها معمولاً به دلیل انقباض آسفالت در اثر چرخه‌های روزانه دما و تغییرات حرارتی شکل می‌گیرند و به بارگذاری وسایل نقلیه مربوط نمی‌شوند. از علائم مشخص این نوع خرابی، سخت شدن و از دست رفتن انعطاف‌پذیری قیر به کاررفته در مخلوط آسفالتی است که باعث می‌شود آسفالت در برابر انقباض و انبساط دمایی نتواند مقاومت کند و دچار ترک خوردگی شود.

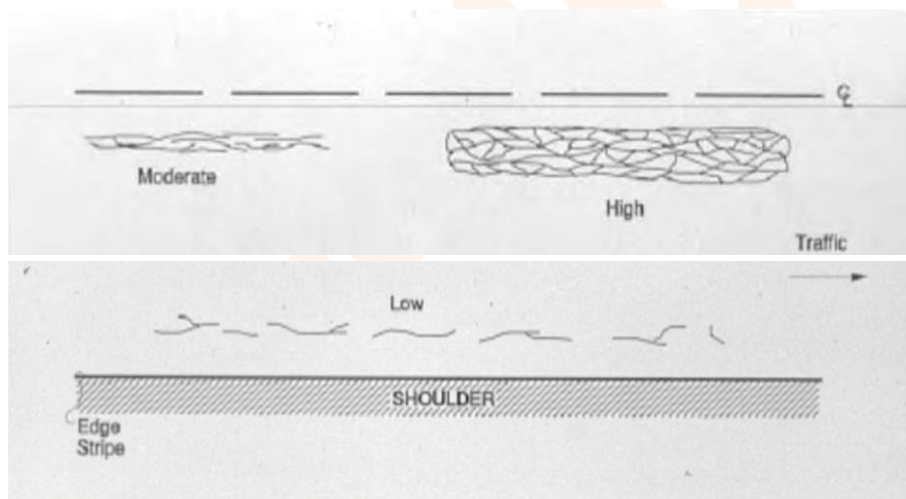
برای ارزیابی این خرابی، مساحت ناحیه آسیب‌دیده به مترمربع اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. در مراحل اولیه (شدت ضعیف)، استفاده از اندود آب‌بندی سطحی می‌تواند روند تخریب را کند کند. در مواردی با شدت متوسط، نیاز به پر کردن ترک‌ها و بازیافت لایه رویه وجود دارد. در شرایط شدید، ضمن پر کردن ترک‌ها، معمولاً اجرای مجدد یا بازیافت لایه رویه آسفالتی توصیه می‌شود تا عملکرد سطحی و زیبایی روسازی حفظ شود و از توسعه بیشتر خرابی جلوگیری گردد.



۶-۵-۵- ترک خوردگی پوست سوسماری/خستگی

ترک خوردگی پوست سوسماری یا ترک خوردگی ناشی از خستگی یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین انواع خرابی‌های سازه‌ای در روسازی آسفالتی است که به دلیل تکرار بارگذاری‌های ترافیکی و ایجاد خستگی در رویه آسفالت رخ می‌دهد. این ترک‌ها ابتدا به صورت خطوط طولی و موازی ظاهر می‌شوند، اما با تداوم عبور وسایل نقلیه، ترک‌ها به تدریج به هم متصل شده و الگوهایی چندضلعی با گوشه‌های تیز را به وجود می‌آورند که ظاهری شبیه پوست سوسمار دارند. این نوع خرابی نه تنها نشان‌دهنده آسیب در لایه آسفالتی است، بلکه ممکن است بیانگر ضعف‌های عمیق‌تر مانند بسترهای ضعیف با مقاومت پایین یا شکل‌پذیری بالا نیز باشد.

اندازه‌گیری این نوع خرابی بر اساس مساحت منطقه آسیب‌دیده و به واحد مترمربع انجام می‌شود. با این حال، ارزیابی شدت خرابی ممکن است دشوار باشد چرا که در یک ناحیه، ممکن است سطوح مختلفی از شدت ترک خوردگی وجود داشته باشد. برای ترمیم، در شدت‌های پایین می‌توان با پر کردن ترک‌ها توسط قیر مایع یا امولسیون و اجرای عملیات سیل‌کت، خرابی را مهار کرد. اما در شرایط متوسط تا شدید، معمولاً استفاده از وصله‌های عمقی یا بازسازی کامل بخش آسیب‌دیده ضروری است تا ساختار روسازی بازبایی شده و از گسترش خرابی جلوگیری شود.

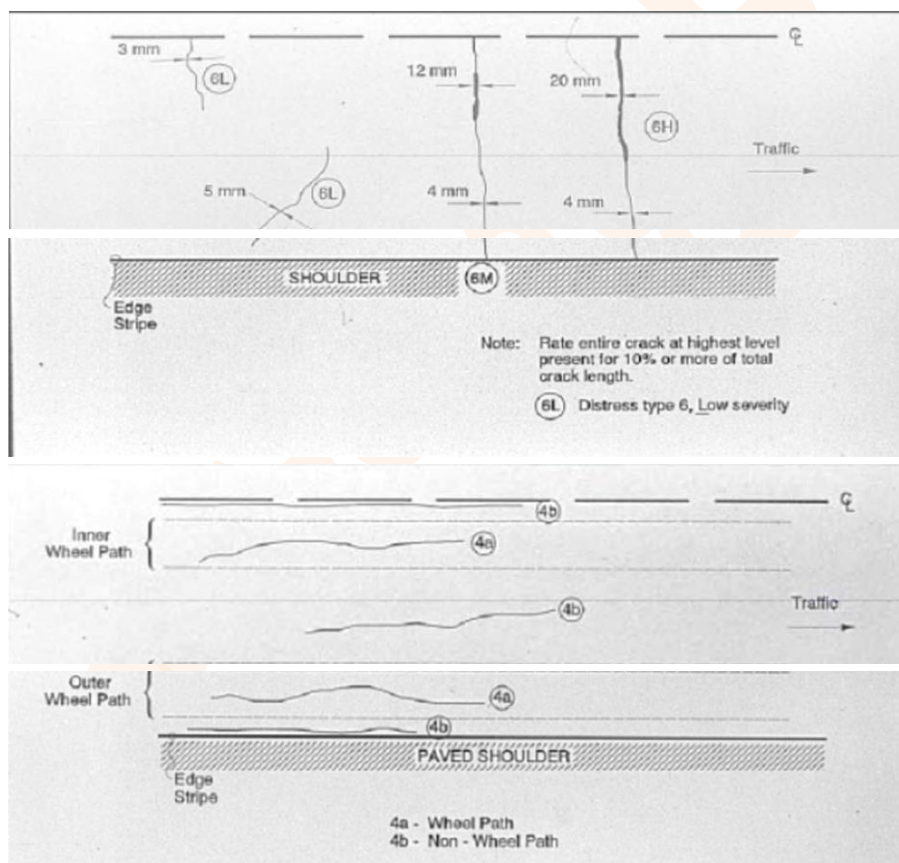


۶-۵-۶- ترک‌های طولی و عرضی

ترک‌های طولی و عرضی از جمله ترک‌های متداول در روسازی آسفالتی هستند که بسته به جهت‌گیری نسبت به محور راه، به دو دسته تقسیم می‌شوند. ترک‌های طولی به موازات محور مسیر و اغلب به دلیل خستگی لایه آسفالتی (در لبه‌ها یا نواحی با ضخامت کمتر) ایجاد می‌شوند و معمولاً نشانه‌ای از ضعف در ساختار روسازی یا اثرات بارگذاری مکرر هستند. از سوی دیگر، ترک‌های عرضی عمدتاً به دلایل محیطی مانند انقباض حرارتی، سخت شدن بیش از حد قیر و تغییرات شدید دمای شبانه‌روزی به وجود می‌آیند. این ترک‌ها معمولاً در فواصل

منظم در سطح آسفالت ظاهر می‌شوند و می‌توانند مقدمه‌ای برای خرابی‌های جدی‌تر باشند، به‌ویژه اگر آب به داخل لایه‌های زیرین نفوذ کند.

اندازه‌گیری این نوع خرابی بر اساس طول ترک‌ها و بر حسب متر انجام می‌شود و در صورتی که در طول یک ترک، شدت‌های مختلفی مشاهده شود، هر بخش به‌طور جداگانه ثبت و تحلیل می‌گردد. در سطح خرابی با شدت پایین، معمولاً نیازی به اقدام نیست، مگر ترک‌هایی که عرض آن‌ها بیش از ۳ میلی‌متر باشد که در این صورت باید پر شوند. در شدت متوسط، پر کردن ترک‌ها برای جلوگیری از نفوذ آب و تخریب بیشتر ضروری است. در موارد شدید، علاوه بر پر کردن ترک، ممکن است نیاز به وصله پاره عمقی نیز باشد تا پایداری ساختار روسازی حفظ شود و خرابی گسترش نیابد.

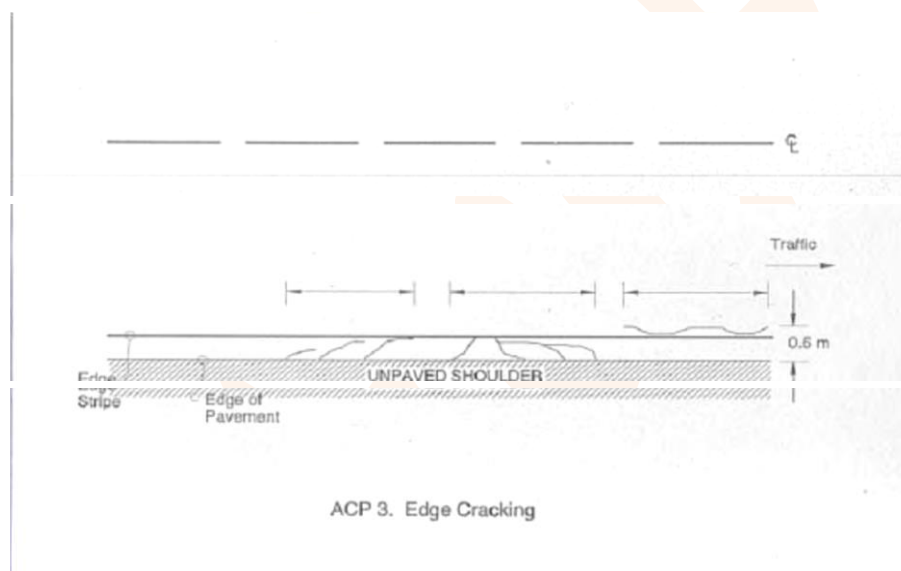


۶-۵-۷- ترک خوردگی لبه

ترک خوردگی لبه‌ای یکی از خرابی‌های رایج در حاشیه روسازی آسفالتی است که معمولاً در فاصله ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری از لبه بیرونی روسازی به موازات مسیر حرکت ظاهر می‌شود. این نوع ترک اغلب ناشی از تضعیف لایه اساس یا بستر خاک در اثر چرخه‌های یخبندان و ذوب یخ است. با تضعیف شدن این ناحیه، اثر

بارگذاری‌های ترافیکی منجر به تشدید خرابی و توسعه ترک‌خوردگی می‌شود. این مسئله در مناطقی که خاک‌های حساس به یخبندان وجود دارد، بیشتر مشاهده می‌گردد.

برای ثبت و ارزیابی این خرابی، طول ترک‌خوردگی بر حسب متر اندازه‌گیری می‌شود. در مواردی که شدت خرابی پایین است، نیازی به تعمیر فوری وجود ندارد مگر آنکه ترک‌ها بزرگ‌تر از ۳ میلی‌متر باشند که در این صورت باید پر شوند. در سطح متوسط، پر کردن ترک‌ها همراه با اجرای وصله پاره عمقی برای تقویت موضعی توصیه می‌شود. در موارد شدیدتر، انجام وصله پاره عمقی ضروری است تا از گسترش ترک‌ها و آسیب بیشتر به لایه‌های زیرین جلوگیری شود. رسیدگی به این نوع خرابی اهمیت بالایی دارد، چراکه می‌تواند به تخریب کامل کناره‌های روسازی و خطرات ایمنی منجر شود.



۶-۵-۸- ترک خوردگی لغزشی

ترک لغزشی یا هلالی یکی از انواع خرابی‌های موضعی در روسازی آسفالتی است که معمولاً به شکل قوس‌دار یا هلالی ظاهر می‌شود و در نتیجه نیروهای افقی ناشی از ترمزگیری شدید یا چرخش ناگهانی چرخ‌ها ایجاد می‌گردد. این ترک‌ها اغلب به دلیل لغزش لایه سطحی آسفالت نسبت به لایه زیرین به وجود می‌آیند، که خود ناشی از ضعف در چسبندگی بین لایه‌ها یا پایین بودن مقاومت برشی مخلوط آسفالتی است. این خرابی بیشتر در مناطقی مانند پیچ‌ها، تقاطع‌ها یا ایستگاه‌های اتوبوس که وسایل نقلیه معمولاً ترمز می‌گیرند یا تغییر مسیر می‌دهند، دیده می‌شود.

مساحت ترک‌های لغزشی بر حسب مترمربع اندازه‌گیری می‌شود. در مواردی با شدت پایین، ممکن است نیاز به اقدام خاصی نباشد مگر آنکه آسیب به حدی باشد که عملکرد روسازی را مختل کند، که در این صورت وصله پاره عمقی پیشنهاد می‌شود. در شدت‌های متوسط و بالا نیز بهترین گزینه، اجرای وصله پاره عمقی است تا لایه آسیب‌دیده حذف و با مخلوط

جدید و مقاوم جایگزین شود. رسیدگی به این خرابی به‌ویژه در مسیرهای پرتردد از نظر ایمنی و جلوگیری از تخریب بیشتر ضروری است.

۶-۵-۹- تورفتگی

ترافیک یا فرورفتگی در روسازی به مناطقی از سطح آسفالت گفته می‌شود که نسبت به سطوح اطراف خود در تراز پایین‌تری قرار دارند و حالت گودافتادگی ایجاد کرده‌اند. این خرابی معمولاً به دلیل نشست بستر روسازی یا اجرای ناصحیح لایه‌های روسازی در هنگام ساخت به وجود می‌آید. این پدیده می‌تواند منجر به جمع شدن آب، افت راحتی عبور، و در نهایت تخریب تدریجی لایه‌های زیرین به‌ویژه در زمان نفوذ رطوبت شود.

اندازه‌گیری این خرابی بر اساس مساحت ناحیه آسیب‌دیده و به‌صورت مترمربع انجام می‌شود، در حالی که شدت خرابی با توجه به عمق فرورفتگی طبقه‌بندی می‌گردد: شدت ضعیف با عمق بین ۱۳ تا ۲۵ میلی‌متر، شدت متوسط بین ۲۵ تا ۵۱ میلی‌متر و شدت بالا در مواردی است که عمق بیش از ۵۱ میلی‌متر باشد. برای شدت‌های ضعیف معمولاً نیاز به اقدامی نیست، اما در شدت‌های متوسط و بالا، بسته به شرایط، از وصله‌های کم‌عمق، پاره عمقی یا عمقی برای بازگرداندن تراز سطح روسازی استفاده می‌شود تا عملکرد مطلوب، ایمنی و دوام روسازی حفظ گردد.

۶-۵-۱۰- تورم

تورم در روسازی به حالتی از خرابی گفته می‌شود که طی آن سطح آسفالت به‌صورت موج‌دار و به سمت بالا برآمده می‌شود و معمولاً به‌صورت یک موج بلند با طول بیش از ۳ متر نمایان می‌گردد. این پدیده اغلب در اثر یخبندان و ذوب متوالی در بستر راه یا وجود خاک‌های متورم‌شونده در زیر روسازی رخ می‌دهد. زمانی که رطوبت در خاک‌های حساس به یخبندان یا خاک‌هایی با پتانسیل تورم بالا وارد شود، این لایه‌ها به‌دلیل تغییرات حجمی، روسازی را به سمت بالا هل داده و باعث ایجاد برآمدگی می‌شوند.

برای ارزیابی این نوع خرابی، مساحت ناحیه‌ای که دچار تورم شده به واحد مترمربع اندازه‌گیری می‌شود. در شرایطی با شدت ضعیف یا متوسط، معمولاً اقدام خاصی انجام نمی‌شود، مگر اینکه تورم منجر به اختلال در عملکرد روسازی یا ایجاد مشکلات ایمنی شود. با این حال، در موارد با شدت بالا که تغییر شکل سطح روسازی محسوس و مزاحم است، بازسازی کامل ناحیه آسیب‌دیده ضروری خواهد بود تا با حذف عامل تورم و جایگزینی مواد مناسب، عملکرد و یکنواختی سطح روسازی بازیابی شود.

۶-۵-۱۱- چاله

چاله یکی از بارزترین و مخرب‌ترین انواع خرابی‌های سازه‌ای در روسازی آسفالتی است که به‌صورت فرورفتگی کاسه‌ای شکل و با قطر معمولاً کمتر از ۰٫۹ متر ظاهر می‌شود. این خرابی غالباً در نتیجه تخریب پیشرونده

روسازی به دلیل نفوذ آب، ضعف لایه‌های زیرین، و بارگذاری ترافیکی تکراری پدید می‌آید. زمانی که رطوبت وارد ترک‌های سطحی می‌شود و سپس تحت تأثیر عبور وسایل نقلیه، لایه‌های آسفالتی متلاشی می‌گردند، چاله‌ها به سرعت شکل گرفته و گسترش می‌یابند. وجود چاله نه تنها باعث کاهش شدید ایمنی، راحتی حرکت و کیفیت سواری می‌شود، بلکه در صورت عدم رسیدگی به موقع می‌تواند باعث تخریب لایه‌های عمیق تر روسازی نیز گردد.

شدت چاله‌ها با توجه به میانگین قطر و حداکثر عمق آن‌ها در سه سطح کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) طبقه‌بندی می‌شود. شیوه اندازه‌گیری این خرابی معمولاً به صورت شمارش تعداد چاله‌ها در طول مسیر صورت می‌گیرد. در زمینه تعمیر و نگهداری، برای چاله‌هایی با شدت ضعیف معمولاً نیازی به اقدام فوری نیست، مگر آنکه گسترش آن محتمل باشد. با این حال، استفاده از وصله پاره عمقی یا عمقی به عنوان روش پیشنهادی تعمیر در همه سطوح شدت توصیه می‌شود تا بخش آسیب‌دیده برداشته و با مصالح مناسب جایگزین گردد. توجه به چاله‌ها و رفع آن‌ها در زمان مناسب، تأثیر زیادی بر افزایش طول عمر روسازی و بهبود ایمنی راه خواهد داشت.

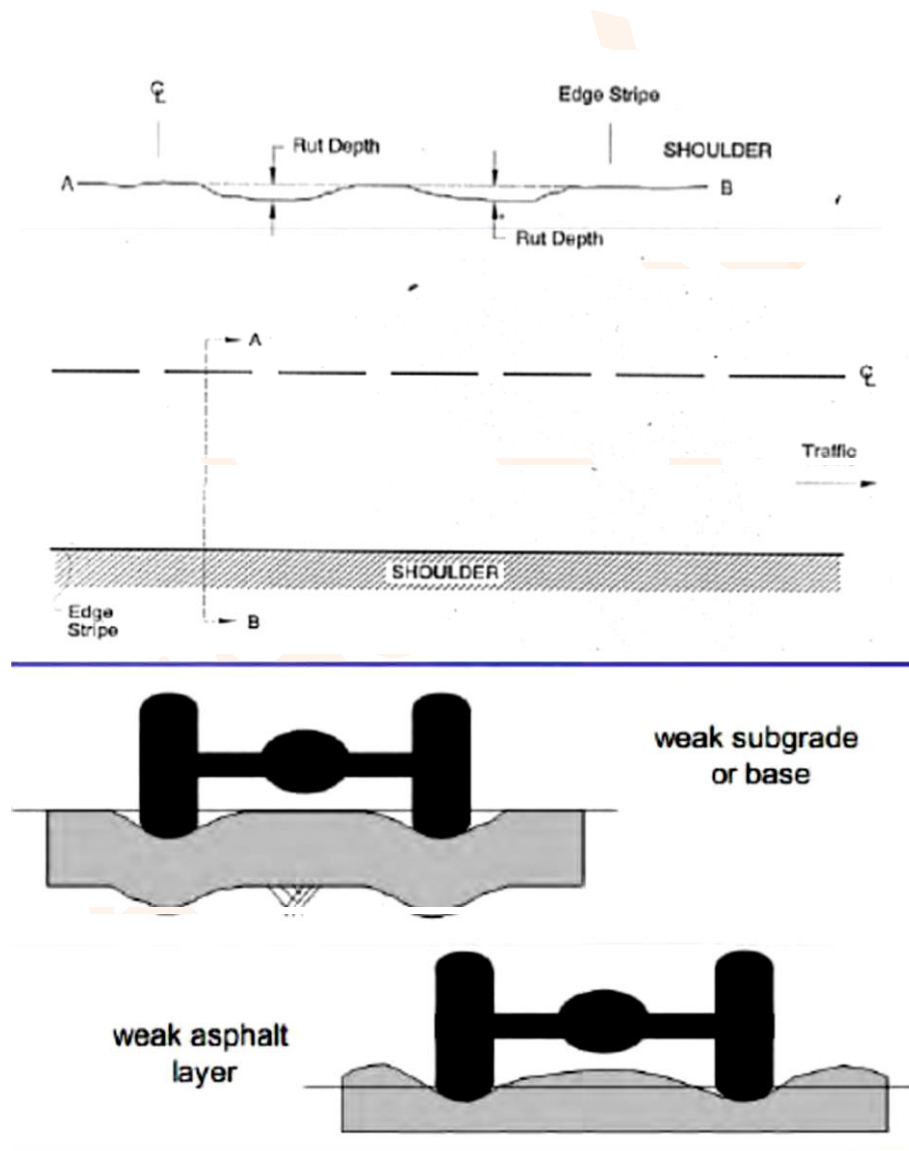
میانگین قطر چاله (میلیمتر)			حداکثر عمق چاله (میلیمتر)
457-762	203-457	102-203	
M	L	L	12.7-25.4
H	M	L	25.4-50.8
H	M	M	50.8<



۶-۵-۱۲ - شیارشدگی

شیارشدگی به فرورفتگی‌های سطحی گفته می‌شود که در مسیر عبور چرخ‌های وسایل نقلیه بر روی روسازی آسفالتی ایجاد می‌گردد. این خرابی معمولاً ناشی از تغییر شکل دائمی یکی از لایه‌های روسازی یا بستر زیرین است که به دلیل فشار و جابجایی‌های تحکیمی یا جانبی تحت بارهای ترافیکی ایجاد می‌شود. شیارشدگی اگر به موقع کنترل نشود، می‌تواند به تخریب ساختاری جدی‌تر منجر شده و باعث کاهش دوام و ایمنی روسازی شود.

برای اندازه‌گیری این نوع خرابی، مساحت سطح دارای شیارشدگی به مترمربع تعیین می‌شود و شدت آن بر اساس میانگین عمق شیار طبقه‌بندی می‌شود؛ عمق‌های متوسط بین ۶ - ۱۳ میلی‌متر، بالاتر از ۱۳ - ۲۵ میلی‌متر و بیش از ۲۵ میلی‌متر برای شدت‌های ضعیف، متوسط و شدید به کار می‌روند. روش‌های مرسوم تعمیر و نگهداری شامل مواردی مانند برداشت سطح روسازی و اجرای روکش جدید، وصله‌های کم عمق یا پاره عمقی و بازسازی‌های عمیق‌تر بسته به شدت خرابی است. این اقدامات به حفظ عملکرد روسازی، افزایش دوام و بهبود ایمنی ترافیکی کمک می‌کند.



۶-۵-۱۳- صیقلی شدن سنگدانه ها

صیقلی شدن سطح آسفالت زمانی رخ می‌دهد که سطح سنگدانه‌ها به حدی صاف و هموار شود که باعث کاهش چسبندگی بین رویه آسفالتی و تایر خودروها گردد. این پدیده معمولاً به دلیل تکرار بارگذاری‌های مکرر و فشارهای پیوسته وسایل نقلیه ایجاد می‌شود و می‌تواند باعث کاهش ایمنی حرکت به دلیل کاهش اصطکاک سطح گردد. نکته مهم این است که اگر در همان محل، قیرزدگی هم وجود داشته باشد، نباید صیقلی شدن به‌طور جداگانه محاسبه شود، چرا که قیرزدگی می‌تواند بر چسبندگی تأثیر مستقیم داشته باشد. برای اندازه‌گیری صیقلی شدن، مساحت ناحیه آسیب‌دیده برحسب مترمربع ثبت می‌شود. در مورد تعمیر و نگهداری، بسته به شدت خرابی، گزینه‌های مختلفی وجود دارد که از عدم انجام اقدام تا اجرای روکشی ساده، روکش جدید یا آسیاب و روکش سطحی متغیر است. این روش‌ها به بهبود کیفیت سطح، افزایش چسبندگی و در نهایت افزایش ایمنی رانندگی کمک می‌کنند.

۶-۵-۱۴- کنار رفتگی

****جایجایی طولی دائمی**** به حرکت یا تغییر مکان همیشگی یک ناحیه محدود از سطح روسازی در جهت طولی گفته می‌شود که تحت تأثیر بارگذاری ترافیکی ایجاد می‌گردد. این نوع خرابی معمولاً ناشی از مشکلات ساختاری در مخلوط آسفالتی، مانند استفاده از مخلوط‌های روان و ناپایدار، یا ضعف در محل اتصال روسازی‌های آسفالتی با روسازی‌های بتنی است. چنین جایجایی‌هایی می‌توانند باعث ناپایداری سطح، ایجاد ترک و تخریب زودرس روسازی شوند.

اندازه‌گیری این خرابی بر اساس مساحت منطقه آسیب‌دیده و به واحد مترمربع انجام می‌شود. در مرحله تعمیر و نگهداری، در شدت‌های ضعیف معمولاً نیاز به اقدام خاصی نیست؛ اما در شدت‌های متوسط و بالا استفاده از وصله‌های پاره عمقی یا عمقی توصیه می‌شود تا ناحیه آسیب‌دیده اصلاح و استحکام لازم به روسازی بازگردد. این اقدامات نقش مهمی در جلوگیری از گسترش خرابی و حفظ عملکرد طولانی‌مدت روسازی دارند.

۶-۵-۱۵- گذرگاه راه آهن

تورفتگی یا برآمدگی اطراف یا بین خطوط راه‌آهن به تغییر شکل‌هایی گفته می‌شود که در محدوده عبور راه‌آهن روی روسازی ایجاد می‌شود و می‌تواند به صورت فرورفتگی یا برآمدگی سطحی باشد. این نوع خرابی معمولاً به دلیل تنش‌های متمرکز ناشی از عبور قطارها و ارتعاشات قوی، و همچنین نشست یا جایجایی‌های بستر زیر روسازی در این نواحی ایجاد می‌گردد. این پدیده می‌تواند باعث کاهش ایمنی عبور، آسیب به سازه‌های راه‌آهن و روسازی شود و نیازمند توجه ویژه است.

برای ارزیابی این خرابی، مساحت ناحیه آسیب‌دیده به صورت مترمربع اندازه‌گیری می‌شود. در مراحل تعمیر و نگهداری، بسته به شدت خرابی، از عدم اقدام در موارد ضعیف تا استفاده از وصله‌های کم‌عمق، پاره عمقی یا حتی بازسازی کامل گذرگاه در موارد متوسط و شدید بهره گرفته می‌شود. انجام این تعمیرات به حفظ عملکرد و ایمنی هر دو بخش راه‌آهن و مسیر عبور کمک شایانی می‌کند.

۶-۵-۱۶- قیر زدگی (روزدن قیر)

قیرزدگی به تشکیل یک لایه نازک و براق از مصالح قیری بر روی سطح رویه روسازی گفته می‌شود که باعث ایجاد سطحی صاف، درخشان و بازتاب‌دهنده نور می‌گردد. این پدیده معمولاً ناشی از درصد بالای قیر در مخلوط آسفالتی یا کاهش هوای خالی در مخلوط است که باعث می‌شود قیر اضافی به سطح راه نفوذ کرده و به شکل یک لایه نازک ظاهر شود. قیرزدگی می‌تواند باعث کاهش اصطکاک سطح و در نتیجه کاهش ایمنی حرکت شود.

برای اندازه‌گیری این خرابی، مساحت ناحیه تحت تأثیر بر حسب مترمربع ثبت می‌شود. در زمینه تعمیر و نگهداری، در شدت‌های ضعیف معمولاً نیازی به اقدام خاصی نیست؛ اما در شدت‌های متوسط و بالا، استفاده از روش‌هایی مانند پخش ماسه یا مصالح سنگی روی سطح و غلتک‌زنی برای افزایش زبری و بازیابی اصطکاک سطح توصیه می‌شود. این اقدامات به بهبود ایمنی و دوام روسازی کمک می‌کند.

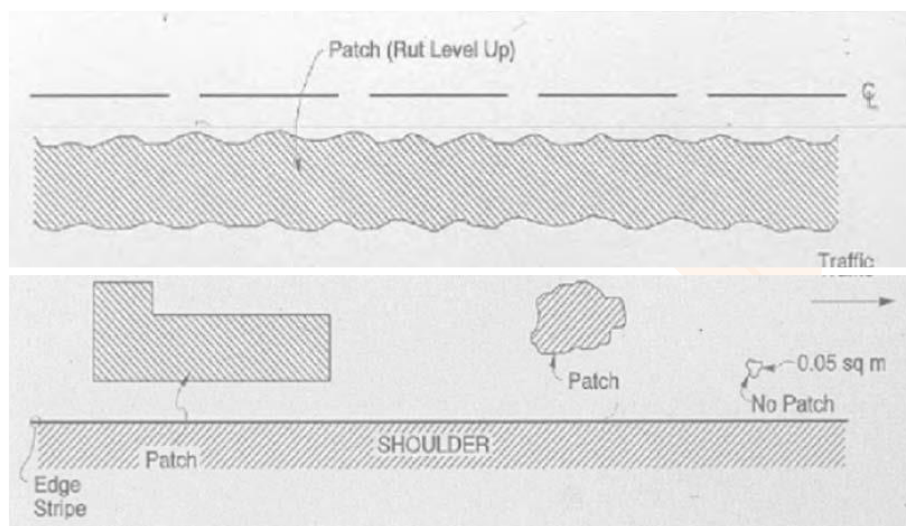
۶-۵-۱۷- موج زدگی

این خرابی پستی و بلندی‌های منظم به ناهمواری‌های متناوب و منظم گفته می‌شود که به فاصله‌های کمتر از ۳ متر در امتداد روسازی ظاهر می‌شوند و باعث ایجاد سطح ناهموار و ناهمگن در طول مسیر می‌گردند. این خرابی معمولاً ناشی از ناپایداری در رویه آسفالتی یا اساس زیرین روسازی است که باعث حرکت و تغییر شکل‌های موضعی می‌شود. این وضعیت می‌تواند بر راحتی رانندگی و ایمنی تأثیر منفی گذاشته و در درازمدت منجر به آسیب‌های شدیدتر شود. برای ارزیابی این خرابی، مساحت منطقه آسیب‌دیده بر حسب مترمربع اندازه‌گیری می‌شود. در خصوص تعمیر و نگهداری، در شدت‌های ضعیف معمولاً نیازی به اقدام فوری نیست، اما در موارد متوسط و شدید، بازسازی بخش آسیب‌دیده روسازی ضروری است تا پایداری و کیفیت مسیر بازگردانده شود و عملکرد مناسبی فراهم گردد.

۶-۵-۱۸- وصله کاری

وصله‌کاری به معنای جایگزینی ناحیه‌ای از روسازی آسیب‌دیده با مصالح جدید به منظور تعمیر و بازسازی بخش خراب شده است. هرچند وصله‌ها به منظور بهبود وضعیت روسازی انجام می‌شوند، اما حتی اگر به خوبی اجرا شده باشند، به عنوان نوعی نارسایی یا ضعف در نظر گرفته می‌شوند، زیرا معمولاً همراه با مقداری ناهمواری در سطح روسازی همراه هستند که می‌تواند بر کیفیت و دوام مسیر تأثیرگذار باشد.

در ارزیابی وصله کاری، مساحت وصله ها برحسب مترمربع اندازه گیری می شود و خرابی های داخل محدوده وصله ثبت نمی شوند. همچنین اگر در محدوده وصله شدت های مختلف خرابی وجود داشته باشد، هر یک به طور جداگانه برداشت و ثبت می شود. برای تعمیر و نگهداری، در موارد شدت ضعیف معمولاً نیازی به اقدام نیست، اما در شدت متوسط ترک ها پر شده و وصله تعویض می شود، و در شدت بالا تعویض کامل وصله ضروری است تا عملکرد روسازی بهبود یابد و دوام آن افزایش یابد.



۶-۵-۱۹- هوازدگی و دانه دانه شدن

هوازدگی و دانه دانه شدن به فرسایش سطح روسازی گفته می شود که در آن چسبندگی قیر بین دانه های مصالح کاهش یافته و دانه ها از جای خود جدا می شوند. این پدیده باعث ساییدگی و تضعیف ساختار سطح روسازی می شود و می تواند کیفیت و دوام مسیر را به شدت کاهش دهد. عواملی مانند سفت شدن چسبنده قیری، کیفیت پایین مخلوط آسفالتی و نشت روغن از وسایل نقلیه سنگین، از مهم ترین دلایل ایجاد این نوع خرابی هستند.

برای اندازه گیری این خرابی، مساحت ناحیه آسیب دیده بر حسب مترمربع ثبت می شود. در زمینه تعمیر و نگهداری، در شدت های ضعیف معمولاً نیازی به اقدام خاصی نیست و تنها آب بندی سطح انجام می شود. در شدت های متوسط، علاوه بر آب بندی، اعمال روکش نیز به منظور بهبود سطح و افزایش دوام توصیه می شود. در موارد شدید، انجام روکش، بازافت یا حتی بازسازی کامل روسازی ضرورت دارد تا کیفیت و ایمنی مسیر مجدداً تأمین شود.